

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra Stavebních hmot a diagnostiky staveb

Vliv krystalizačních příměsí na strukturu mikrotrhlin a vodotěsnost betonu v čase

Influence of impurities on the crystallization structure of microcracks

and waterproof concrete in time

Student:

Bc. Markéta Bambuchová

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jiří Šafrata, Ph.D.

Ostrava 2016

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Markéta Bambuchová**  
Studijní program: N3607 Stavební inženýrství  
Studijní obor: 3607T021 Stavební hmoty a diagnostika staveb  
Téma: **Vliv krystalizačních přísad na strukturu mikrotrhlin a vodotěsnost  
betonu v čase**  
**Influence of impurities on the crystallization structure of microcracks  
and waterproof concrete in time**  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

1. Popište, pro jaké konstrukce a stavby se používají betony s deklarovanou hloubkou průsaku tlakovou vodou, jak se vodotěsnost specifikuje a zkouší.
2. Vysvětlete, jak se dosahuje vodotěsnosti betonu, co se týká jeho složení, jeho zpracování a ošetřování.
3. Zpracujte přehled komerčních přípravků označovaných jako krystalizační přísady a uveďte doporučení pro jejich použití.
4. Navrhněte beton C 25/30 XC4. Zpracujte plán zkoušek a vyrobte zkušební krychle referenční a s vybranými krystalizačními přísadami. Zkušební tělesa nechejte 14 dní po odformování záměrně v suchém prostředí. Další dobu je uložte zpět do vody. Po 28 dnech případně i po delší době vyzkoušejte na tělesech hloubku průsaku tlakovou vodou a mikroskopicky srovnajte s referenčními tělesy.
5. Zhodnoťte výsledky a spolehlivost jednotlivých krystalizačních přísad vzhledem k dosažené hloubce průsaku. Posuďte ekonomickou výhodnost použití krystalizačních přísad.

### Seznam doporučené odborné literatury:


Pytlík, P.: Technologie betonu, 2. vyd. BRNO: VUTIUM, 2000. 390 stran. ISBN 80-214-1647-52000  
Collepari, M.: Moderní beton, Informační centrum ČKAIT / Betonové stavitelství, Praha, 342 stran, ISBN: 978-80-87093-75-7.  
ČSN EN 206 – Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda (2014)  
ČSN EN 12390-8 Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou (2009)  
Firemní literatura dodavatelů krystalizačních přísad  
[http://www.ita-aites.cz/cz/casopis/casopis\\_pdf/](http://www.ita-aites.cz/cz/casopis/casopis_pdf/)  
<http://www.concrete.org/>  
<http://www.verlagbt.de/verlag/beton/index.php?navtext=Beton>

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jiří Šafrata**

Datum zadání: 29.02.2016

Datum odevzdání: 30.11.2016

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Libor Židek  
vedoucí katedry



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 30. 11. 2016

.....

podpis studenta



Prohlašuji:

- byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 30. 11. 2016

## **Anotace**

BAMBUCHOVÁ, M. *Vliv krystalizačních příměsí na strukturu mikrotrhlin a vodotěsnost betonu v čase*. Ostrava, 2016. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava, 113 s. Vedoucí práce Ing. Jiří Šafrata, Ph.D.

Tato diplomová práce se zabývá betony s deklarovanou hloubkou průsaku tlakovou vodou. V první části je rozebráno složení vodotěsných betonů, jeho zpracování a ošetřování. Dále je uvedena rešerše komerčních přípravků označovaných jako krystalizační příměsi. Experimentální část se poté zabývá metodikou potvrzení účinnosti krystalizačních příměsí v betonu a analýzami vzniklého cementového kamene a jednotlivých krystalizačních příměsí.

## **Klíčová slova**

Vodotěsný beton, Krystalizační příměsi, Analýzy

## **Annotation**

BAMBUCHOVÁ, M. *Influence of impurities on the crystallization structure of microcracks and waterproof concrete in time*. Ostrava, 2016. Master's Thesis. VŠB – Technical University of Ostrava, 113 p. Supervisor: Ing. Jiří Šafrata, Ph.D.

In my master's thesis I deal with the problematic of concrete with declared depth of power water leakage. The first part brings analyses of waterproof concrete structure and its processing and treatment. Following chapters contain recherche of commercial products labelled as crystallization admixture. Experimental part copes with methodology and confirms the efficiency of crystallization impurities in concrete. Final part of my thesis also includes analyses of arisen cement stone and particular crystallization admixture.

## **Key Words**

Waterproof concrete, Crystallizing admixture, Analyses

## Obsah

Seznam použitého značení .....	10
Úvod .....	11
1. Konstrukce a stavby s deklarovanou hloubkou průsaku tlakovou vodou .....	12
1.1. Bílé vany .....	12
1.2. Hloubka průsaku tlakovou vodou .....	13
2. Složení vodotěsného betonu .....	14
2.1. Zrnitost kameniva .....	15
2.2. Hydratační procesy .....	16
2.2.1. Hydratace silikátů .....	17
2.2.2. Hydratace aluminátů .....	17
2.3. Vodní součinitel .....	18
2.4. Plastifikátory a superplastifikátory .....	20
3. Vývin hydratačního tepla .....	20
3.1. Omezení vývinu hydratačního tepla .....	20
4. Zpracování a ošetřování vodotěsného betonu .....	22
5. Přehled krystalizačních přísad do betonu používaných v ČR .....	23
5.1. Idrocrete KR 1000 .....	25
5.2. Akvatron 12 .....	26
5.3. Krystol Mix .....	27
5.4. Sika WT – 200 P .....	28
5.5. Conseal Admix Liquid .....	30
5.6. Xypex Admix C-1000 (NF) .....	31
Experimentální část .....	32
6. Použité materiály .....	35
6.1. Krystalizační přísady .....	35
6.2. Cement .....	35

6.3.	Voda.....	36
6.4.	Kamenivo.....	36
6.5.	Superplastifikátor.....	37
7.	Metodika zkoušení .....	38
7.1.	Postup přípravy betonu a ošetřování těles .....	41
7.2.	Zkouška čerstvého betonu sednutím.....	44
7.3.	Objemová hmotnost.....	45
7.4.	Hloubka průsaku tlakovou vodou .....	46
7.5.	Kapilární absorpce .....	48
7.6.	Zkouška konzistence čerstvé malty za použití střešacího stolku.....	51
7.7.	Spektrometr .....	52
7.8.	Kalorimetr.....	53
7.9.	Diferenční skenovací kalorimetrie spojená s termogravimetrií.....	53
7.10.	RTG práškový difraktometr .....	54
7.11.	Infračervená spektroskopie .....	54
8.	Vyhodnocení jednotlivých zkoušek a analýz .....	56
8.1.	Zkouška čerstvého betonu sednutím.....	56
8.2.	Objemová hmotnost.....	57
8.3.	Hloubka průsaku tlakovou vodou .....	58
8.4.	Kapilární absorpce .....	68
8.5.	Zkouška konzistence čerstvé malty za použití střešacího stolku.....	71
8.6.	Analytické práce vyšetření cementového kamene.....	72
8.7.	Metody optické mikroskopie pro vyšetření cementového kamene .....	80
8.7.1.	Binokulární mikroskopie.....	81
8.7.2.	Optická polarizační mikroskopie .....	88
8.7.3.	Elektronová scanující mikroskopie .....	94
8.7.4.	Konfokální mikroskopie.....	94

8.8. Analytické práce vyšetření krystalizačních příměsí .....	102
8.8.1. Spektrometr .....	102
8.8.2. DSC/TG analýza krystalizačních příměsí .....	103
8.8.3. RTG prášková difrakce krystalizačních příměsí .....	107
8.8.4. Vývin hydratačního tepla krystalizačních příměsí v kalorimetru .....	109
8.8.5. DSC/TG analýza 10% koncentrace krystalizačních příměsí + cement.....	110
Závěr.....	113
Použitá literatura .....	116
Seznam obrázků .....	120
Seznam tabulek .....	122
Seznam grafů.....	123
Seznam příloh.....	124
Přílohy .....	128

## Seznam použitého značení

Značka	Popis	Chemická značka	Jednotka
C <sub>2</sub> S	dikalciumsilikát - belit	2CaO.SiO <sub>2</sub>	[-]
C <sub>3</sub> S	trikalciumsilikát – alit	3CaO.SiO <sub>2</sub>	[-]
C <sub>3</sub> A	trikalciumaluminát	3CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	[-]
C <sub>4</sub> AF	tetrakalcium aluminát ferrit – celit	4CaO. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	[-]
C <sub>A</sub>	kapilární absorpce		[g/mm <sup>2</sup> ]
CH	hydroxid vápenatý	Ca(OH) <sub>2</sub>	[-]
CHRL	chemické rozmrazovací látky		[-]
ČOV	čistička odpadních vod		[-]
DSC	diferenční skenovací kalorimetrie		[-]
m	hmotnost		[kg]
M <sub>j</sub>	hmotnost zkušebního tělesa po 7 denním nebo 90 ošetřením		[g]
M <sub>0</sub>	hmotnost zkušebního tělesa po předepsané absorpční době		[g]
t	teplota		[°C]
TG	termogravimetrická analýza		[-]
TL	technický list		[-]
RTG	rentgenové záření		[-]
V	objem		[m <sup>3</sup> ]
V5	zkouška maximálního průsaku tlakovou vodou		[-]
w/c	vodní součinitel – poměr množství vody k množství cementu		[-]
XRF	rentgenová fluorescenční analýza		[-]
ρ	objemová hmotnost		[kg/m <sup>3</sup> ]

## Úvod

Dostatečná vodotěsnost betonových konstrukcí je důležitou vlastností pro dlouhodobou životnost mnoha typů staveb. Mezi tyto stavby patří především skladovací nádrže (např. pro pitnou vodu, čističky odpadních vod), podzemní parkoviště, základy a bazény. Tyto konstrukce jsou v době svého užívání namáhány tlakovou vodou a je pro ně využíváno betonů s tzv. deklarovanou hloubkou průsaku tlakovou vodou. Vodotěsnost betonu závisí především na nepropustnosti cementového kamene. Tu nejvíce ovlivní křivka zrnitosti, druh a množství cementu (souvisí s vývinem hydratačního tepla) a vodní součinitel.

Vytvoření trvanlivějšího (vodotěsného) betonu, je stále jedním z cílů současného betonářství. V českých podmínkách, se od 90. let nachází na trhu tzv. krystalizační příměsi. Jsou to směsi anorganické povahy, na bázi jemně mletých portlandských cementů, speciálně upravených křemičitých písků a dalších chemických sloučenin. Přesné složení příměsí, bývá výrobním tajemstvím jednotlivých firem. Tzv. sekundární krystalizace, kterou mají způsobovat tyto příměsi, by měly mít za následek lepší nepropustnost betonu vůči průniku jak kapalných látek (nesoucích nežádoucí látky), tak plyných. Použití krystalizačních příměsí nebývá časté a taktéž názory na jejich účinnost se velmi liší.

Krystalizační příměsi se mohou používat jak do čerstvého betonu, tak jako nátěrové hmoty na již hotovou konstrukci. Tato práce se zabývá první možností – použitím příměsí v čerstvém betonu. Byl navržen postup ověření účinnosti krystalizačních příměsí z hlediska vodotěsnosti. Uložením vzorků hned po odformování do sušárny při  $t = 105\text{ °C}$  po dobu 3 hod a poté ponecháním volně v laboratorním prostředí, byla vytvořena síť mikrotrhlin. Následně byly vzorky uloženy v kádích s vodou do doby, než podstoupily zkoušku průsaku tlakovou vodou. Referenční sada vzorků byla po celou dobu od odformování uložena ve vodním prostředí. Tímto způsobem mělo být ověřeno, zda se projeví rozdíl v maximálním průsaku zkoušených vzorků.

Dalším faktorem je samozřejmě ekonomická stránka. Je otázkou do jaké míry jsme schopni prokázat účinnost krystalizačních příměsí, jež jsou ekonomicky nákladné a tím pádem doporučit jejich nutné použití u vybraných betonových konstrukcí. Kvalitního nepropustného betonu totiž můžeme dosáhnout již na základě vhodně zvolené receptury a následného ošetřování betonu.

## **1. Konstrukce a stavby s deklarovanou hloubkou průsaku tlakovou vodou**

Vodotěsné betony se využívají v místech, kde dochází především k dlouhodobému jednostrannému zatížení vodním tlakem. V určitých případech musí být taktéž odolné vůči agresivnímu prostředí, být mrazuvzdorné a odolávat proudění vody. Nepropustnost těchto konstrukcí závisí především na nepropustnosti cementového kamene. Tuto nepropustnost nejvíce ovlivňuje křivka zrnitosti kameniva, druh a množství cementu a vodní součinitel – v základní myšlence poměr množství vody k množství cementu. Čím nižší je vodní součinitel, tím dosahujeme lepší nepropustnosti (hutnosti) betonu. Parametry, jako maximální vodní součinitel, minimální dávku cementu a maximální hloubku průsaku tlakovou vodou nám určuje stupeň vlivu prostředí dle ČSN EN 206 [25] a ČSN P 73 2404 [40].

Dalšími parametry, které ovlivňují vodotěsnost betonu, je smrštění (plastické, autogenní, vysycháním), geometrie konstrukce a vývoj hydratačního tepla betonu. Těmto parametrům je třeba taktéž věnovat zvýšenou pozornost, pokud máme zájem dosáhnout betonu, jež odolá navrhovanému zatížení.

### **1.1. Bílé vany**

Pod názvem bílé vany se nachází tzv. vodotěsné stavby z betonu, (nejčastěji železobetonové) u nichž je spojena nosná funkce s těsnicí funkcí vůči prosakující vodě. Sférami, kde se využívají bílé vany, jsou především základové konstrukce budov a průmyslových staveb. Správné funkce bílých van, u kterých již dále nepotřebujeme dalších izolačních opatření, dosáhneme splněním následujících parametrů:

- vhodně zvolenou recepturou s pomalým vývinem hydratačního tepla a s co nejmenšími objemovými změnami,
- dostatečným zhutněním,
- zamezením vzniku trhlin správným ošetřováním,
- rozdělením vzniklých trhlin výztuží nebo rozptýlenou výztuží,
- utěsněním pracovních a dilatačních spár.



## **1.2. Hloubka průsaku tlakovou vodou**

Míra vodotěsnosti se provádí zkouškou stanovení hloubky průsaku tlakovou vodou dle ČSN EN 12390-8 [19]. Zkušební těleso musí být krychle, válec nebo hranol o délce hrany nebo průměru nejméně 150 mm, přičemž žádný rozměr nesmí být menší než 100 mm. Zkušební těleso, jehož zkušební plocha se hned po odbednění zdrsňuje, se po uplynutí 28 dní v normovém prostředí v kádi s vodou, upne do zkušebního zařízení, jež po dobu  $72 \pm 2$  h působí na těleso vodním tlakem  $500 \pm 50$  kPa. Po uplynutí této zkušební doby, se těleso vyjme ze zařízení a povrch, který byl vystaven působení vodního tlaku, se setře pro odstranění přebytečné vody. Rozložíme jej v polovině, kolmo k povrchu, na který působil vodní tlak. Jakmile lomová plocha oschne natolik, že je výrazně vidět hranici průsaku na zkušebním tělese, označí se. Výsledkem zkoušky je největší hloubka průsaku vyjádřená v milimetrech. Beton uvažujeme za vodotěsný, pokud je průměrná hloubka průsaku menší než 20 mm a maximální hloubka průsaku nepřesahuje hodnotu 50 mm. Při zkoušce vodotěsnosti jsou nepřijatelné boční průsaky vody na zkušebním tělese. Zkušební tělesa se musí v průběhu zkoušky kontrolovat, zda k průsakům nedochází. Pokud ano, postižené těleso se vyloučí, tato skutečnost se zaznamená do protokolu a zkoušku je třeba opakovat.

Dříve byla zkoušena vodotěsnost dle normy ČSN EN 73 1321 Stanovení vodotěsnosti betonu [26], která určovala následující stupně vodotěsnosti V2, V4, V8 a V12. Pokud byl požadavek na vodotěsnost betonu např. V4, provedla se zkouška vodotěsnosti betonu a výsledkem zkoušky bylo – vyhovuje/nevyhovuje. Dnes se zkouší podle normy ČSN EN 12390 – 8 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou. Zde je výsledkem zkoušky maximální hloubka průsaku, jak je zmíněno v odstavci výše.

## 2. Složení vodotěsného betonu

Mezi základní složky betonu patří plnivo, pojivo a voda. Dalšími složkami, které se používají, jsou příměsi a přísady.

Plnivem v betonu je kamenivo. Kamenivo ve výsledném betonu zaujímá 70 – 80 % svého objemu a tvoří pevnou kostru betonu. Podle svého původu rozlišujeme kamenivo na přírodní, umělé nebo recyklované. U kameniva využíváme jeho schopnosti vzájemného opření a zaklínění. Tím vzniká pevná a tlakově odolná kostra. Pro správný návrh betonu je nutné zvolit kamenivo vhodné křivky, abychom dosáhli odolné kostry. Dále přijatelné pórovitosti, jež ovlivňuje nasákavost kameniva. Ta má vliv na zpracovatelnost čerstvého betonu, pevnost ztvrdlého betonu a jeho mrazuvzdornost. Vhodné kamenivo pro použití do betonů by dále nemělo obsahovat chloridy, sírany a reaktivní křemičitany. Pro zjištění výskytu těchto škodlivých látek, je vhodné před prvním použitím, podstoupit zkoušky kameniva, především pokud nemáme předchozí zkušenosti s daným kamenivem, případně pokud došlo ke změně těžebního místa kameniva. [27], [28]

Nejběžnějším pojivem betonu je cement. Pojivové vlastnosti cementu nám dávají jemně mleté slínkové minerály, které vznikají výpalem surovinové směsi vhodného chemického složení. Slínkové minerály jsou trikalciumpilíkát ( $C_3S$  – alit), dikalciumsilikát ( $C_2S$  – belit), trikalciumpilínát ( $C_3A$ ) a tetrakalciumilínát ferit ( $C_4AF$  – celit). Ty po rozmíchání s vodou reagují a postupem času vytváří pevný kompozit požadovaných fyzikálně – mechanických vlastností. Surovinová směs pro výpal je vhodným poměrem čtyř hlavních oxidů –  $CaO$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  a  $Fe_2O_3$ .

Na vodu používanou v betonech jsou kladeny nároky dle ČSN EN 1008 [17]. Všechny tyto nároky splňuje pitná voda z vodovodního řádu. Voda v betonech, je nezbytnou součástí a ve výsledném kompozitu ji rozlišujeme jako vodu chemicky, fyzikálně a volně vázanou. Chemicky vázaná voda je součástí hydratačních produktů, jako výsledek chemické reakce mezi cementem a vodou. Fyzikálně vázanou vodu nalezneme v gelových pórech, adsorbovaných na povrchu hydratačních produktů. Volně vázaná voda se pak nalézá v kapilárních pórech. Fyzikálně a volně vázaná voda jsou tzv. odpařitelné vody, které můžou z cementové pasty uniknout v průběhu vysušování. [2], [3], [6], [10]

Dalšími složkami betonu, které se používají, jsou přísady a příměsi do betonu. Přísady můžeme definovat jako chemické (většinou kapalné) sloučeniny, které se přidávají během míchání do betonu v množství 0,2 – 5 % hmotnosti cementu. Účelem použití přísad je modifikace vlastností betonu jak čerstvého, tak tvrdnoucího.

Příměsi jsou většinou práškové látky. Přidávají se do čerstvého betonu s cílem zlepšení některých vlastností. Zlepšení vlastností může probíhat jak u čerstvého betonu, tak betonu ve ztvrdlém stavu. Příměsi dělíme na dvě skupiny:

- typ I – inertní příměsi,
- typ II – pucolány nebo latentně hydraulické látky.

Krystalizační látky v betonu, kterými se tato práce zabývá, se většinou nachází pod názvem přísady. Studie, knižní vydání i jednotliví výrobci nejsou v tomto označení ovšem jednotní. Naprostá většina z nich sice uvádí název „krystalizační přísady“, ale vzhledem ke skutečnosti, že krystalizace jsou většinou práškového charakteru a účastní se hydratačního procesu, je označení „krystalizační příměsi“ vhodnější a je z tohoto důvodu v práci použito.

V následujících podkapitolách bude podrobněji rozebrána zrnitost použitého kameniva, princip hydratačních procesů, vliv vodního součinitele a princip účinnosti superplastiifikátorů.

## **2.1. Zrnitost kameniva**

Zrnitost vystihuje rozdělení kameniva od nejjemnějších částic po částice největší. Správné složení kameniva umožní vyplnit prostor mezi zrny většími, pomocí částic jemných. Volba zrnitosti napomáhá vzniku kameniva s nízkým obsahem mezer. Zbylé mezery jsou pak vyplněny cementovým tmelem. Po jeho ztvrdnutí dosáhneme struktury, jež se podobá kameni. Zrnitost kameniva zjišťujeme pomocí síťového rozboru dle ČSN EN 933-1 [30] a pro daný typ betonu je nutno rozhodnout, jaká zrnitost je vhodná. Při dosažení maximální hutnosti betonu díky optimálnímu složení křivky kameniva, se ovšem budeme potýkat s problémem pohyblivosti betonu. U takových betonů, bychom pak museli použít účinné zhutňovací zařízení. V praxi není snadné najít kamenivo, které by po smíchání s cementem splňovalo

požadavky na optimální zrnitost. Toho ovšem můžeme dosáhnout smícháním několika různých kameniv s rozdílnou zrnitostí.

Přírodní nenasákavé hutné kamenivo většinou plně vyhovuje a vystačuje pro zajištění požadavku vodotěsnosti. Nezbytnou součástí je přítomnost jemných podílů, díky kterým snížíme obsah pórů. Nadbytek velmi jemných podílů, má ovšem za následek snížení mrazuvzdornosti a zvýšení vodní součinitele. Pokud bychom chtěli velmi jemné kamenivo nahradit cementem, vzniká zde tendence ke vzniku mikrotrhlin. Je vhodné, aby čára zrnitosti zachovala dobrou zpracovatelnost čerstvého betonu. Přídavek velmi jemných zrn je vesměs prospěšný, pokud dochází ke zvýšení objemové hmotnosti. [1]

## 2.2. Hydratační procesy

Hydratace cementu po rozmíchání s vodou je složitý proces, který je ovšem v současnosti velmi dobře popsán. Stále se sice nacházejí oblasti, které nejsou známy, ovšem základní principy tuhnutí a tvrdnutí cementu jsou definovány. Během chemických reakcí mezi cementem a vodou dochází ke dvěma změnám a to k tuhnutí a tvrdnutí. Tuhnutí je postupné snižování zpracovatelnosti až do chvíle, kdy cementová pasta úplně ztratí schopnost být tvarována. Poté nastává období tvrdnutí betonu neboli nárůst pevností. V tomto období můžeme na stavbě přistoupit k odstranění bednění.

Za hydratační procesy odpovídají jemně mleté slídkové minerály spolu se sádrovcem. Těmito slídkovými minerály, jež vznikají výpalem jemně mleté homogenizované surovinové moučky, jsou:

**Tab. 1: Slídkové minerály**

Slídkový minerál	Pojmenování	Chemické označení	Zkratka
trikalciumpilíkát	alit	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$
dikalciumpilíkát	belit	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$
trikalciumpiluminát	-	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$
tetralciumpiluminát ferit	celit	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$

### 2.2.1. Hydratace silikátů

Při kontaktu alitu s vodou, dochází v prvních minutách k rychlé hydratační reakci. Tento proces je ovšem jen krátce trvající.  $\text{Ca}^{2+}$  ionty se uvolňují z povrchu částic alitu a přecházejí do vodného roztoku. Po velmi krátké době (v řádu několika minut) dochází k útlumu této fáze a nastává tzv. dormantní perioda. V dormantní periodě nedochází k další významné hydrataci alitu, jelikož vodný roztok není schopen přijmout další  $\text{Ca}^{2+}$  ionty – roztok je přesycen  $\text{Ca(OH)}_2$ . Po několika hodinách dochází k velmi rychlé hydrataci alitu, která dosahuje svého maxima po zhruba 10 hodinách. Po 1 měsíci probíhajících hydratačních procesů je hydratováno kolem 90 % všech zrn. Hydratací alitu vznikají tzv. C-S-H gely a  $\text{Ca(OH)}_2$  – portlandit. C-S-H gely jsou svou jehlicovou strukturou odpovídající za konečné pevnosti betonů – jsou hlavními nositeli pevnosti. Oproti tomu portlandit nepřispívá k rozvoji pevností, ale je zodpovědný za ochranu ocelové výztuže proti korozi a umožňuje výrobu pucolánových a struskových cementů. [10], [11]

Hydratace belitových fází je velmi podobná hydrataci alitu. Minoritní rozdíl spočívá v rychlosti hydratace. Hydratační pochody belitů jsou pomalejší a jsou odpovědné za konečné pevnosti betonů. Výslednými produkty jsou taktéž C-S-H gely a portlandit, ten zde ovšem není obsažen v takové míře jako u alitu.

### 2.2.2. Hydratace aluminátů

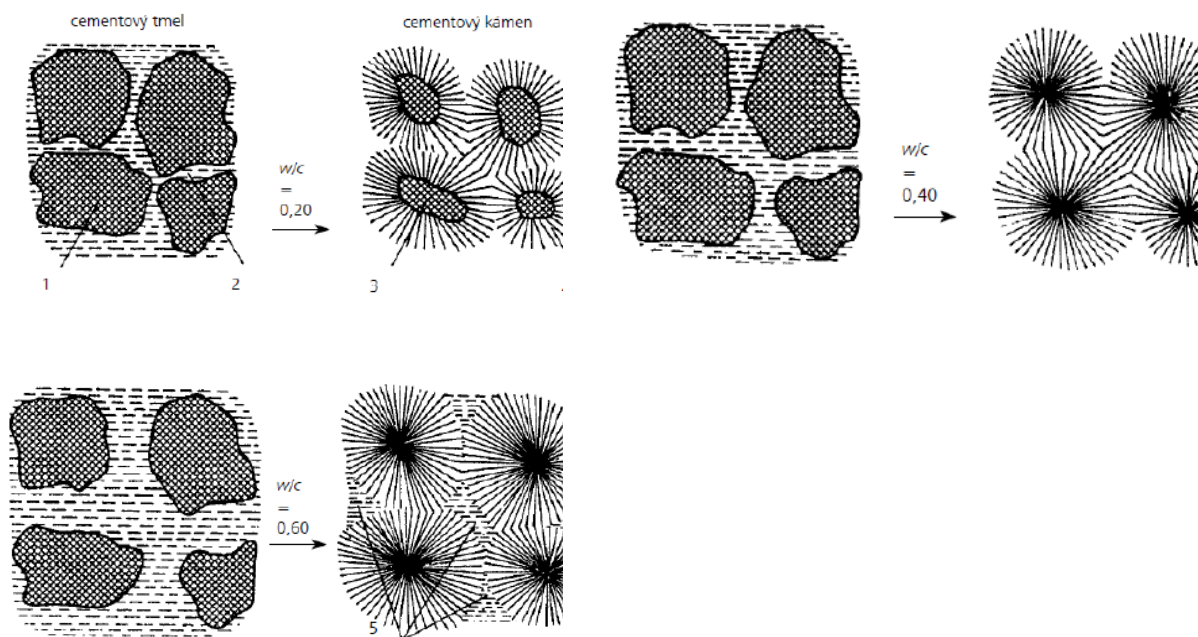
Hydratace celitu a trikalciumaluminát feritu probíhá velmi rychle již v prvních minutách. Jejich výsledným procesem je vznik C-A-H (kalciump-aluminát – hydrát) produktů. Struktura C-A-H produktů má lupínkovitý charakter, který ke konečným pevnostem přispívá oproti C-S-H gelům jen nepatrně. Rychlost reakce aluminátů by nám v praxi znemožnila manipulaci s čerstvou kaší - velmi rychle by ztrácela svou plasticitu. Daný proces omezujeme sádrovcem. Sádrovec, jenž se mele spolu s cementem, se přidává ke slínku jako sádra nebo anhydrit. Reakce sádrovce s alumináty způsobuje vznik primárního ettringitu, který vytváří na jejich površích ochranné osmotické membrány. Tento proces zabraňuje dalšímu kontaktu vody s alumináty a předčasnému tuhnutí. Po spotřebování většiny sádrovce se přestává tvořit ettringit a voda se opět dostává k zrnům aluminátů a nastává tuhnutí. Množství sádrovce přidávaného k cementu je pečlivě regulováno, jeho nadměrné množství, by mohlo způsobit

dlouhodobou tvorbu ettringitu, v pozdějších obdobích především sekundárního. Význam hliníku a především železa v surovinové směsi, je především ve snížení teploty výpalu cementu. To přispívá ke snížení výrobní ceny. [10], [11]

### **2.3. Vodní součinitel**

Bez vody by nemohly probíhat hydratační procesy a beton by nikdy nedosáhl svých konečných vlastností. Ve výsledném kompozitu vodu rozlišujeme jako chemicky vázanou (součástí hydratačních produktů), fyzikálně vázanou (v gelových pórech) a volně vázanou (v kapilárních pórech). Teoretické množství vody pro úplnou hydrataci cementu je 23 – 25 % vody z hmotnosti cementu. Ovšem tak nízké množství vody by nám v praxi způsobilo velmi obtížnou manipulaci z důvodu velmi tuhé konzistence čerstvého betonu. Z toho důvodu se běžná hodnota množství vody pohybuje kolem 45 – 60 % z hmotnosti cementu. Dalšího snížení vodního součinitele za současného zlepšení zpracovatelnosti čerstvého betonu dosáhneme za použití plastifikačních a superplastifikačních přísad.

Vodní součinitel v betonářské praxi definujeme jednoduše jako poměr hmotnosti vody k cementu, ve zkratce  $w/c$ . Do jeho výpočtu, ale také zahrnujeme příměsi. To nastává například při částečné náhradě cementu mikrosilikou. Velmi jemná frakce mikrosiliky, nám způsobí zvýšení měrného povrchu celkové hmotnosti kameniva a tím zvýší nutné množství přidané vody. Do výpočtu také zahrnujeme vodu obsaženou na povrchu kameniva a v tekutých přísadách. Při použití suchého kameniva se voda vsáknutá do kameniva z celkového množství vody odečítá. Do výpočtu vodního součinitele je tedy nutno zahrnout obsáhlé množství informací.



**Obrázek 1: Hydratace cementových zrn v závislosti na w/c [9]**

Obrázek 1 názorně vystihuje vliv vodního součinitele na výslednou pevnost ztvrdlého betonu. Čím vyšší vodní součinitel, tím jsou hydratovaná zrna dále od sebe, jejich jehličkovitá struktura do sebe mnohem méně prorůstá.

Na vodním součiniteli závisí permeabilita betonu. Ta je tím nižší, čím použijeme nižší vodní součinitel. Betony s nízkou permeabilitou, samozřejmě dosahují lepších výsledků v maximálním průsaku tlakovou vodou. Čili pokud chceme dosáhnout trvanlivého a odolného betonu vůči atakům tlakové vody, nízký vodní součinitel je výhodou.

Potřebná dávka záměsové vody se odvíjí od následujících faktorů:

- druh použitého kameniva a maximální velikost zrna kameniva,
- požadovaná zpracovatelnost čerstvého betonu,
- použití plastifikátorů a superplastifikátorů,
- požadovaná pevnost ztvrdlého betonu,
- třída prostředí.

## **2.4. Plastifikátory a superplastifikátory**

Jsou chemické většinou tekuté přísady, jež nám umožňují snížit potřebné množství záměsové vody, při zachování stejné konzistence čerstvého betonu, nebo naopak můžou zlepšit konzistenci při zachování stejného množství vody. S použitím plastifikátorů a superplastifikátorů dosahujeme také nižších pórovitostí ztvrdlého betonu. S tím se zvyšuje jeho pevnost a také trvanlivost. [7]

## **3. Vývin hydratačního tepla**

Hydratace cementu je exotermní reakcí. Vyvinuté teplo je přitom tím vyšší, čím více zrn za daný časový úsek zhydratuje. Se zvyšujícím se množstvím cementu, se maximální teplota zvyšuje. Dle geometrie konstrukce je třeba vzít v potaz teplotní gradient. Ten je velmi důležitý především při stavbě masivních konstrukcí. Vysoký rozdíl teplot na povrchu konstrukce a v jejím středu může způsobit překročení tahových napětí v betonu, které následně způsobí vznik mikrotrhlin. Toto nepravidelné teplotní smrštění v betonu během ochlazování konstrukce snižuje trvanlivost (v našem případě především vodotěsnost) betonu.

### **3.1. Omezení vývinu hydratačního tepla**

Omezení hydratačního tepla vyvíjeného v průběhu hydratace můžeme docílit více způsoby. Jednou z možností je použití cementů s nižším obsahem  $C_3S$  (alitu) a  $C_3A$  (trikalciumaluminátu), jejichž hydratace je silně exotermická. Tyto cementy se označují jako tzv. belitové cementy.  $C_2S$ , kterého je zde značně více než v běžných portlandských cementech, uvolňuje při kontaktu s vodou o polovinu méně tepla než  $C_3S$ . Takové cementy sice tuhnou a tvrdnou pomaleji, ovšem jejich konečné pevnosti jsou téměř stejné. Kromě omezení slínekových minerálů v cementu, je možno použít cement hruběji mletý. Další možností je použití směsných cementů, kde je část portlandského cementu nahrazena struskou či popílky.



Použitím zpomalujících přísad, můžeme taktéž dosáhnout snížení maximální hodnoty hydratačního tepla. Je známo, že pokud použijeme ve směsi vysokou dávku superplastifikátoru, který se částečně váže na  $C_3S$ , dojde ke snížení maximální teploty o několik stupňů. V případě přidání zpomalující přísady, dojde ještě k výraznějšímu utlumení teploty. Množství zpomalující přísady, je nutno předem vyzkoušet, aby tuhnutí a tvrdnutí cementu nebylo zpomaleno příliš. Zvolená dávka přísady by měla být kompromisem mezi pevností a požadavkem na maximální teplotu. [3]

Pro omezení tepla v betonu můžeme udělat ještě jednu věc, a to snížit teplotu ukládaného čerstvého betonu. Toho docílíme chlazením vstupních surovin. Chlazení cementu většinou nebývá možné, bylo by velmi složité a nákladné. Ovšem kamenivo můžeme skladovat mimo přímé sluneční záření, případně ho skrápět studenou vodou. Toto opatření ovšem nebývá dostatečně účinné. Nejúčinnějším opatřením se jeví použití studené vody a chlazení čerstvého betonu tekutým dusíkem. Použití tekutého dusíku je účinné opatření, které je ovšem velmi nákladné a tak nebývá často využíváno. Pro výraznější snížení teploty v betonu se častěji využívá náhrad záměsové vody drceným ledem. [39]

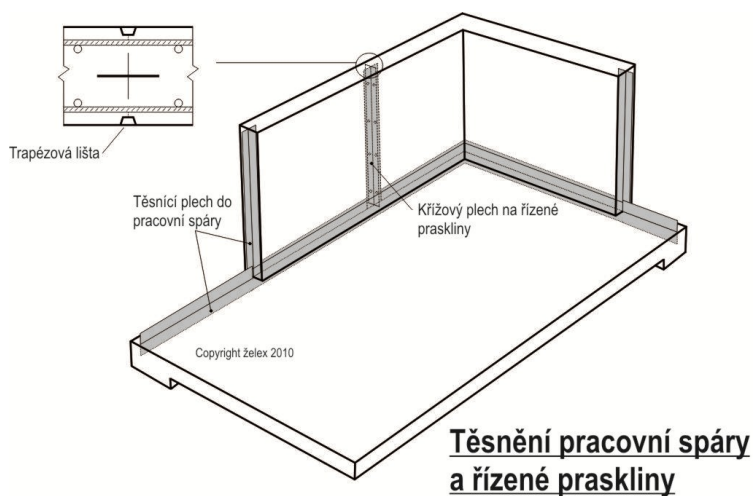


**Obrázek 2: Chlazení čerstvé betonové směsi tekutým dusíkem [39]**

S teplotními gradienty se v konstrukci setkáváme vždy, když se jedná o masivní konstrukce. U tenkých prvků nebývají teplotní gradienty dostatečně vysoké, aby způsobily vznik propustných mikrotrhlin. V praxi je ovšem velmi problematické aplikovat požadavek na snížení hydratačního tepla. V českých normách totiž není blíže určeno, co je běžný a co nízký vývoj hydratačního tepla. Zároveň není daná metodika pro zkoušení vývinu hydratačního tepla a větší část výrobců hodnoty, v jakých se pohybují teploty vývinu tepla ani nezná. [29], [39]

## 4. Zpracování a ošetřování vodotěsného betonu

Nepropustnost cementového kamene je nutná pro bezchybnou funkčnost trvanlivých, vodotěsných betonů. Objemové změny betonu, které jsou většinou spojené se vznikem sítě mikrotrhlin a trhlin, jsou nežádoucí. Z toho důvodu se přistupuje, k co největšímu omezení jejich vzniku. Trhliny, které by mohly vzniknout, je nutné rozdělit výztuží na menší, pro vodu neprůchodné trhliny. I pracovní spáry musí být pečlivě naplánované, jejich napojení bez vad a v co nejmenším počtu. Je nutné jejich utěsnění těsníci prvky. [2]



**Obrázek 3: Těsnění pracovní spáry a řízené trhliny [35]**

Zpracování a ošetřování betonu má vliv na tzv. smrštění betonu. To souvisí s množstvím a šířkou trhlin v betonové konstrukci. Základním způsobem rozdělujeme smrštění na:

- plastické – vysychání vody z betonu v plastickém stavu,
- autogenní – vycházející z hydratace cementu,
- z vysychání – vycházející z vysychání ztvrdlého betonu.

Plastické smrštění můžeme omezit opatřením betonu bezprostředně po kontaktu se vzduchem nepropustnou membránou nebo vlhčenou rohoží. Taktéž při použití výztuže a rozptýlené výztuže (vláken), dosáhneme zvýšení tahové pevnosti betonu.

K autogennímu smrštění dochází oproti tomu v případě, kdy je vyloučena možnost výměny vody mezi betonem a okolím. Toto smrštění je problematické zejména u vysokohodnotných betonů s velmi nízkým vodním součinitelem a lze ho omezit vodním ošetřováním betonu nebo přidáním smrštění redukujících přísad.

Smrštění z vysychání nejvíce ovlivníme hutnou strukturou kameniva. Prodloužené ošetřování betonu jen oddaluje smrštění z vysychání, ovšem na celkové smrštění nemá ošetřování podstatný vliv. [10]

Pro omezení vzniku smršťovacích trhlin, musí být beton dostatečně zhutněn. Vhodně zvolené složení kameniva zabraňuje cementovým zrnům, aby významně ovlivnily smrštění. Pokud je provedena výztuž, musí být vytvořena tak, aby čerstvý beton mohl vyplnit prostor bednění. Samotné bednění musí být těsné, aby bylo zabráněno vzniku šterkových hnízd. Taktéž je vhodné zabránit co největšímu počtu pracovních spár. Volná plocha betonu musí být po dostatečně dlouhou dobu vhodně ošetřována, abychom zabránili plastickému smrštění.

## **5. Přehled krystalizačních příměsí do betonu používaných v ČR**

Krystalizační příměsi jsou látky, které by svým přidáním do betonu měly způsobit sekundární krystalizaci ve ztvrdlém betonu. Příměsi by měly reagovat s portlanditem a s dalšími produkty vznikajícími v průběhu hydratace cementu za vzniku nových Ca – křemičitanů a dalších nerozpustných solí. Výsledné krystalické sloučeniny a Ca - křemičitany by měly být uloženy v dutinách cementové matrice a tím snižovat celkovou pórovitost. Jednotliví výrobci, ale neuvádějí chemické složení příměsí, nemůžeme tedy s jistotou říci, zda a jakým způsobem tento proces probíhá. Krokem pro popsání chování příměsí v betonu by mohlo být vyšetření složení vzniklých produktů v matrici cementového kamene betonu.

Tato kapitola podává přehled krystalizačních příměsí, jež jsou na trhu. Krystalizační příměsi jsou většinou práškové směsi na bázi jemně mletého portlandského cementu, speciálně upravených křemičitých písků a dalších chemických přísad, jejichž složení je tajemstvím výrobních společností. Dle nabídky, uváděné výrobci na svých internetových stránkách, je v naší zemi k dispozici minimálně celkem 7 druhů krystalizačních příměsí.

Jednotlivé příměsi se liší především v množství detailů uváděných v technických listech výrobců. Většina technických listů uvádí vlastnosti jako snížení celkové pórovitosti cementového kamene a zvýšení pevnosti betonu. Málom který výrobce ovšem již uvádí, pro který druh betonu toto zlepšení můžeme očekávat. Pouze v technickém listu výrobce Siky a Mapei se uvádí bližší požadavky na kvalitu betonu.

Technický list Siky WT – 200 P uvádí požadavek na doporučený maximální vodní součinitel ( $w/c = \max. 0,45$ ) a minimální dávku cementu ( $c = \min 350 \text{ kg/m}^3$ ). Dále Mapei pro svou krystalizační příměs Idrocrete KR 1000 uvádí, že příměs není vhodná pro vylepšení vlastností betonu nižších tříd a doporučují vodní součinitel  $w/c < 0,5$ .

Přehled jednotlivých krystalizačních příměsí, použitých v této práci je uveden v Tab. 2.

**Tab. 2: Přehled krystalizačních příměsí v ČR**

Č.	Výrobce	Krystalizační příměs	Konzistence
1.	Mapei	Idrocrete KR 1000	Prášková směs
2.	Moramis	Akvatron 12	Prášková směs
3.	Redrock	Krystol Mix	Prášková směs
4.	Sika	Sika WT – 200 P	Prášková směs
5.	Chryso	Conseal Admix Liquid	Viskózní tekutina
6.	Nekap	Xypex Admix C 1000 (NF)	Prášková směs
7.	Nekap	Xypex Admix C1000	Prášková směs

Následující podkapitoly uvádí přehled doporučení pro jejich použití a jejich technická data, případně charakteristiky (tak jak jsou uváděny výrobci). Technické listy příměsí jsou přiloženy v Příloze A a bezpečnostní listy Příloze B.

### 5.1. Idrocrete KR 1000

Krystalizační příměs Idrocrete KR 1000 firmy Mapei je prášková směs, která svým přidáním do čerstvého betonu snižuje propustnost konečného betonu. Technický list uvádí následující účinek příměsi. Po přidání vody příměs reaguje s portlanditem a dalšími produkty, které v průběhu hydratace cementu tvoří sloučeniny Ca - křemičitanů a dalších nerozpustných solí (není uvedeno jakých). Společně s nimi, pak vytváří další produkty Ca - křemičitanů, které se ukládají do dutin a pórů cementové matrice a tím snižují celkovou pórovitost. Takto je zvýšena celková odolnost betonu proti pronikání vody tlakem.

Příměs se přidává do čerstvého betonu, již na betonáře nebo do autodomíchávače spolu se všemi dalšími složkami betonu (cement, přísady, kamenivo). Je doporučeno prodloužit dobu míchání tak, aby došlo k rovnoměrnému rozmíchání příměsi v celém objemu. Není uvedeno v jakém pořadí je vhodné příměs do čerstvého betonu přidat. Příměs je kompatibilní se všemi přísadami firmy Mapei. Pokud do čerstvého betonu přidáváme jiné druhy superplastifikátorů než od firmy Mapei, měly by být na akrylové bázi. Technická data uvedena výrobcem v technickém listu jsou v Tab. 3.

**Tab. 3: Technická data Idrocrete KR 1000**

<b>Konzistence</b>	Prášek
<b>Barva</b>	Šedá
<b>Objemová hmotnost [g/cm<sup>3</sup>]</b>	1,1
<b>Klasifikace příměsi dle BS EN 934-2:2009</b>	Voděodolná přísada, tabulka 9
<b>Chloridy dle ČSN EN 480-10 [%]</b>	< 0,1
<b>Alkálie dle ČSN EN 480-12 [%]</b>	< 1.5
<b>Doporučený vodní součinitel</b>	< 0,5
<b>Doporučená dávka příměsi [%]</b>	1 - 3
<b>Doporučený druh cementu</b>	Portlandský cement I, II

Příměs by neměla být použita ke zlepšení vlastností betonů nižších tříd. Při dodržení zásad doporučených výrobcem a navrhnutí receptury vyšší třídy bychom měli dosáhnout minimálně následujících parametrů, které jsou uvedeny v Tab. 4.

**Tab. 4: Charakteristiky vyrobeného betonu**

<b>Objemová hmotnost betonu [kg/m<sup>3</sup>]</b>	2300
<b>Třída betonu</b>	> C30/37
<b>Maximální hloubka průsaku dle ČSN EN 12390-8</b>	< 30 mm
<b>Maximální hloubka průsaku dle DIN 1048</b>	< 30 mm
<b>Darcyho koeficient propustnosti [m/s]</b>	< 1x10 <sup>-13</sup>

## 5.2. Akvatron 12

Krystalizační příměs Akvatron 12 firmy Moramis je modifikovaná směs anorganického původu, prášek je vyroben z portlandských cementů, velmi jemných speciálně upravených křemičitých písků a dalších minerálních přísad. Dá se použít jako příměs do čerstvého betonu nebo se používá k aplikaci v kritických místech betonové konstrukce jako je styk stěny a dna, pracovní spáry, apod. Technický list uvádí zlepšení odolnosti vůči vodě a agresivním látkám, především vůči průniku ropných produktů (jako motorový olej, nafta). Dále by měl zpomalit atmosférické vlivy urychlující korozi betonu (jako kyselé deště, hladové vody). Webové stránky produktu ani technický list neuvádí princip krystalizace Akvatronu 12 v betonu. Technická data uvedena výrobcem jsou v Tab. 5.

**Tab. 5: Technická data Akvatron 12**

<b>Konzistence</b>	Prášek
<b>Barva</b>	Šedá
<b>Doporučený vodní součinitel</b>	Neuvedeno
<b>Doporučená dávka příměsi [%]</b>	0,4 - 1
<b>Minimální vodotěsnost dle ČSN 731209</b>	V8 [0 mm]

Vypočtené množství příměsi z doporučené dávky dle výrobce se rozmíchá s přiměřeným množstvím pitné vody (přídavek vody na 1 kg směsi cca 250 ml) do pastové konzistence. Pasta se přidá do míchačky, kde musí dojít k dokonalému rozmísení. Dle typu míchačky může dojít k prodloužení doby míchání až na 10 minut. Pro správné nastartování krystalizačních procesů, by měl povrch betonu, zůstat v prvních 21 dnech vlhký.

### **5.3. Krystol Mix**

Krystalizační příměs Krystol Mix firmy Redrock je prášková příměs na bázi portlandských cementů a chemikálií, která vytváří nerozpustné krystalické sloučeniny v celém objemu betonu. Tento proces zaplňuje volné póry a zabraňuje průniku vlhkosti i tlakové vody. Utěsnění betonu proti průniku vlhkosti má taktéž za následek omezení škodlivého působení chloridů, které způsobuje korozi výztuže. Dalšími výhodami je zabránění průniku kapalin, jako je benzín, nafta, oleje.

Příměs se může přidávat do čerstvého betonu jak na betonárce, tak do autodomíhače. Výrobce uvádí nutnost prodloužení doby míchání po přidání příměsi aspoň na 10 minut, aby došlo rovnoměrnému rozmíchání příměsi v celém objemu a k rozpuštění organických chemikálií. Výrobce neuvádí omezení použití druhů plastifikátorů, ovšem Krystol Mix má dle TL zlepšovat zpracovatelnost a čerpatelnost betonu. Příměs snižuje potřebu vody při stejné zpracovatelnosti až o 5 – 10 %. Technická data uvedena výrobcem jsou v Tab. 6.

**Tab. 6: Technická data Krystol Mix**

<b>Konzistence</b>	Prášek
<b>Barva</b>	Šedá
<b>Objemová hmotnost [g/cm<sup>3</sup>]</b>	1,48
<b>Klasifikace příměsi dle EN 934-2</b>	Těsnicí přísada do betonu
<b>Chloridy dle EN 934-2/A2:2006/T9 [%]</b>	< 0,1
<b>Alkálie dle EN 934-2/A2:2006/T9 [%]</b>	< 5,0
<b>Doporučený vodní součinitel</b>	Neuvedeno
<b>Doporučená dávka příměsi [%]</b>	1,5 - 2
<b>Doporučený druh cementu</b>	Portlandský cement (včetně struskoportlandských)
<b>Hrubost [μm]</b>	45 – 150
<b>pH (po smíchání s vodou)</b>	13

Výrobce uvádí, že uložení betonu s příměsí není časově omezeno, nicméně po 45 minutách se rychle snižují plastifikační účinky příměsi. Další výhodou, by měla být schopnost obnovení krystalizační reakce při průniku vody i po letech.

K tzv. procesu vyhojování, dochází ve chvíli, kdy se k nezreagovaným zrnům cementu, dostane volná voda, která zde předtím nebyla přítomna. K vyhojování betonu dochází i bez použití krystalizačních příměsí. Tyto příměsi by měli proces vyhojování podpořit.

#### **5.4. Sika WT – 200 P**

Krystalizační příměs Sika WT – 200 P firmy Sika je kombinovaná těsnicí a krystalizační příměs do betonu, jejichž vlastností se využívá pro schopnost zacelovat trhliny a tím pádem snížení permeability betonu. Příměs byla vyvinuta pro výrobu vodonepropustných betonů pro vodu a dalších kapalin. Příměs je směsí cementu, funkčních aditiv a plniv. Vzájemné působení těchto složek po rozmísení ve směsi způsobuje hydrofobizaci betonu a krystalizační produkty poté vyplňují póry a kapiláry. Dochází tak k utěsnění betonu proti vnikání vody a



dalších kapalin. Tato příměs se dle výrobce vyznačuje schopností obnovení krystalizační reakce – vyhojování betonu.

Příměs je navržena pro použití v recepturách s minimálním požadavkem na obsah cementu a maximálním vodním součinitelem. Technické data příměsi a požadavky jsou v Tab. 7.

**Tab. 7: Technická data Sika WT – 200P**

<b>Konzistence</b>	Prášek
<b>Barva</b>	Šedá
<b>Objemová hmotnost [g/cm<sup>3</sup>]</b>	0,75 ± 0,05
<b>Klasifikace příměsi dle EN 934-2</b>	Těsnící přísada do betonu
<b>Chloridy [%]</b>	< 0,1
<b>Alkálie [%]</b>	≤ 4
<b>Doporučený vodní součinitel</b>	Max 0,45
<b>Doporučená dávka příměsi [%]</b>	1 - 2
<b>Minimální dávka cementu [kg/m<sup>3</sup>]</b>	350
<b>Doporučený druh cementu</b>	Všechny druhy cementů
<b>Maximální obsah příměsí</b>	Elektrárenský popílek, mletá granulovaná vysokopecní struska, silikafume atd. do 40 % z celkového množství pojiva

V závislosti na typu provozu výrobce doporučuje dvě různé možnosti přidání příměsi do čerstvého betonu. První možnost je ve formě velmi řídké suspenze a následném přidání do míchacího zařízení. V druhé se příměs přidá spolu s kamenivem. Kamenivo společně s příměsí je nutno promíchat minimálně po dobu 120 s před přidáním cementu a záměsové vody. Doba míchání je závislá na podmínkách míchání i na typu míchacího zařízení. Výrobce doporučuje minimálně 60 s míchání. Je doporučeno vzhledem k možným plastifikačním účinkům příměsi zbývající množství vody dávkovat až po 2/3 doby míchání.

Sika WT – 200 P je kompatibilní se superplastifikačními přísadami firmy Sika jako např. řada Sika ViscoCrete, SikaPlast, Sikament.

## 5.5. Conseal Admix Liquid

Conseal Admix Liquid firmy Chryso je kapalná krystalizační příměs tvořená křemičitanem sodným a směsí aktivních chemikálií ve vodném roztoku, která reaguje s látkami, jež vznikají při hydrataci cementu. Příměs aktivně podporuje reakce, jejichž vznikem jsou sekundární krystalické struktury v pórech kapilárního systému v betonu. Beton je tímto více odolný proti působení průniku vody i dalších kapalin v jakémkoli směru působení i při vysokém hydrostatickém tlaku. Příměs je dle výrobce schopna překlenout trhliny až do šířky 0,4 mm.

Příměs, může dle TL zejména při betonáži za nižších teplot způsobit zpomalení nárůstu počátečních pevností. Zpomalení je závislé na dávce příměsi, druhu cementu, apod. Při normálních teplotách není zpomalení patrné. Technické data příměsi a požadavky vidíme v Tab. 8.

**Tab. 8: Technická data Conseal Admix Liquid**

<b>Konzistence</b>	Viskózní tekutina
<b>Barva</b>	Průhledná
<b>Objemová hmotnost [kg/dm<sup>3</sup>]</b>	1,30
<b>Klasifikace příměsi dle EN 934-2</b>	Těsnicí přísada do betonu
<b>Chloridy [%]</b>	< 0,1
<b>Alkálie [%]</b>	≤ 10
<b>pH</b>	12,5 ± 0,5
<b>Obsah sušiny</b>	30 % hm. (24 hod. 105 °C)
<b>Doporučená dávka příměsi [%]</b>	1,0
<b>Doporučený druh cementu</b>	Všechny druhy cementů
<b>Maximální obsah příměsí</b>	Elektrárenský popílek, mletá granulovaná vysokopeční struska, silikafume atd. do 40 % z celkového množství pojiva

Příměs přidáváme do míchačky spolu se záměsovou vodou. V případě přidávání příměsí do autodomíchače je nutno záměs promíchat minimálně 1 minutu na 1 m<sup>3</sup> směsi, nejméně však po dobu 3 minut. Conseal Admix Liquid nelze v koncentrovaném stavu mísit s přísadami na bázi lignosulfonanů a je nutno dávkovat jej do čerstvého betonu odděleně.

## 5.6. Xypex Admix C-1000 (NF)

Příměs Xypex Admix C-1000 a Xypex Admix C – 1000 NF dodávány firmou Nekap s.r.o., je prášek skládající se z portlandského cementu, upraveného jemného křemičitého písku a dalších aktivních chemikálií. Použití příměsí dle TL napomáhá ochraně proti tlakové vodě, ropným látkám i dalším chemickým látkám (např. chloridy). Při použití Xypex Admix C-1000 dochází k minimálnímu zpoždění tuhnutí betonu. Xypex Admix C-1000 NF je svou funkcí zcela shodný s předchozí variantou, ovšem neobsahuje křemičitý písek a přidává se v polovičním množství.

Xypex Admix se dávkuje dvěma způsoby. V suchém stavu do směsi kameniva bez cementu nebo se aktivuje v záměsové vodě při výrobě čerstvého betonu. Není dovoleno přidávat Xypex Admix přímo do hotového čerstvého betonu, protože by nedošlo k jeho řádnému promíchání. Výrobce neuvádí, zda je nutno prodloužit dobu míchání v závislosti při použití příměsí. Významná úspora by měla pro investora nastat zejména při použití příměsí u konstrukcí o tloušťce do 30 – 35 cm. Technická data příměsí a požadavky jsou v Tab. 9.

**Tab. 9: Technická data Xypex Admix C - 1000 (NF)**

<b>Konzistence</b>	Prášek
<b>Barva</b>	šedá
<b>Objemová hmotnost [kg/m<sup>3</sup>]</b>	1100 ± 50
<b>Doporučená dávka příměsí Xypex Admix C-1000 [%]</b>	1,0 – 3,0
<b>Doporučená dávka příměsí Xypex Admix C – 1000 NF [%]</b>	0,5 – 1,5

## Experimentální část

Úvodní část této práce se zabývá betony s deklarovanou hloubkou průsaku tlakovou vodou, jak se vodotěsnost specifikuje a zkouší. Je v ní vysvětleno, za jakých podmínek můžeme dosáhnout vodotěsného betonu, co se týká jeho složení, jeho zpracování a ošetřování. V další části je pak zpracován přehled komerčních přípravků krystalizačních příměsí, které se dají pořídit na českém trhu společně s doporučeními výrobců pro jejich použití.

Experimentální část je dále zaměřena na samotnou výrobu vodotěsných betonů. Cílem bylo navrhnout beton třídy C25/30 XC4 a na základě této receptury vyrobit zkušební krychle referenční (bez příměsí) a s vybranými krystalizačními příměsemi dle Tab. 10.

**Tab. 10: Použité krystalizační příměsi**

Č.	Výrobce	Krystalizační příměs
1.	Mapei	Idrocrete KR 1000
2.	Moramis	Akvatron 12
3.	Sika	Sika WT – 200 P
4.	Chryso	Conseal Admix Liquid
5.	Nekap	Xypex Admix C - 1000 (NF)
6.	Nekap	Xypex Admix C - 1000

Vyrobené zkušební krychle byly zkoušeny dle normy ČSN EN 12390-8 [19]. Dle normového postupu jsou tělesa po svém odformování uložena v kádích s vodou. V době zkoušení musí být tělesa staré minimálně 28 dní.

V rámci experimentu byl navržen zkušební postup odlišný. Ten spočíval ve vytvoření záměrné sítě mikrotrhlin ve struktuře cementového kamene betonu. Sít' mikrotrhlin byla vytvořena pomocí umělého vysušování po dobu 14 dní. Po uplynuté době byla tělesa umístěna v kádích s vodou za účelem podpoření tvorby krystalických novotvarů. Referenční sada vzorků byla běžným způsobem umístěna bezprostředně po odformování do kádí s vodou. Následující odstavce předkládají postup experimentu.

Pro aplikaci každé krystalizační příměsi dle Tab. 10 bylo vytvořeno vždy 6 těles o hraně  $a = 150 \text{ mm}$ . Tři tělesa byla hned po odformování uložena v sušárně po dobu 3 hodin o teplotě  $t = 105 \text{ °C}$ . Po uplynutí této doby byla umístěna v běžném laboratorním prostředí. Po uplynutí 14 dní byla tato tělesa zvážena, změřena a vložena do kádí s vodou, kde se nacházela až do zahájení zkoušky vodotěsnosti.

Další tři tělesa ze záměsi byla umístěna následně po odformování v kádích s vodou, kde byla zcela ponořena, až do zahájení zkoušky vodotěsnosti. Vzhledem ke skutečnosti, že tato zkouška trvá  $72 \pm 2 \text{ hod}$  a k dispozici pro práci byly pouze dvě stolice pro zkoušení (celkem 12 zkušebních míst), bylo nutné probíhající práce dobře naplánovat.

Všech 7 záměsí (včetně referenční) bylo vytvořeno v průběhu dvou velkých míchání – celkem 42 zkušebních krychlí. Ve stáří vzorků 28 dní, byl z každé sady vybrán jeden vzorek způsobem dle Tab. 11.

**Tab. 11: Vybrání zkušebních vzorků**

Krystalizační příměs	Ozn.	Začátek zkoušky	Ukončení zkoušky	Vzorek uložený 28 ve vodě	Vzorek uložený 14 v suchém prostředí + 14 ve vodě
---	R	25.10.2016	28.10.2016	R1	R4
Idrocrete KR 1000	I	25.10.2016	28.10.2016	I1	I4
Akvatron 12	A	25.10.2016	28.10.2016	A1	A4
Sika WT – 200 P	S	25.10.2016	28.10.2016	S1	S4
Conseal Admix Liquid	C	25.10.2016	28.10.2016	C1	C4
Xypex Admix C - 1000 (NF)	NF	1.11.2016	4.11.2016	NF1	NF4
Xypex Admix C - 1000	C1000	1.11.2016	4.11.2016	C1000-1	C1000-4

Tímto postupem byly následně vyzkoušeny všechny zkušební krychle a to po 28, 31 a 41 (případně 48) dnech. Vzhledem k tomu, že všechny krychle byly ošetřovány v prostorách laboratoře firmy Betotech, s.r.o., bylo potřeba pečlivě naplánovat převoz krychlí do prostor laboratoře Fakulty stavební VŠB – TUO. Právě na těchto dvou místech byly zkušební krychle zkoušeny. Je nutno poznamenat, že nebylo cílem tělesa zkoušet v delším časovém měřítku. Tento fakt, vycházel z volného počtu stolic.

Na zkušebních krychlích po rozlomení, bylo provedeno mikroskopické měření povrchu binokulárním mikroskopem, konfokálním mikroskopem, elektronovým mikroskopem a polarizační mikroskopií. Jednotlivé povrchy těles byly prozkoumány, zda se zde nenachází viditelné krystalické sloučeniny, povlaky, póry a byly srovnány s referenčními tělesy.

Doplňujícími zkouškami v práci, byla zkouška kapilární absorpce dle ČSN EN 480-5 [24], jež je určena pro přísady do betonu, malt a injektážních malt. Dále analýza prvků pomocí spektrometru, diferenční skenovací kalorimetrie (DSC) spojená s termogravimetrií (TG), diferenční kalorimetrická analýza pomocí kalorimetru DIK 04 a rentgenová prášková difrakce. Analýzy byly prováděny na čistých krystalizačních příměsích nebo na odebraném cementovém kameni z betonu.

Práce je zaměřena především na vodotěsnost těles, ošetřovaných za speciálních podmínek. Další zkoušky – jako např. pevnost v tlaku, modul pružnosti, odolnost proti chemickým rozmrazovacím látkám (CHRL) a nasákavost nebyla zkoušena. Tyto vlastnosti byly již na Fakultě stavební (VŠB – TUO) zkoumány dříve v rámci studentské odborné činnosti. Z tohoto důvodu nebylo k těmto zkouškám znovu přistoupeno. [5]

## **6. Použité materiály**

### **6.1. Krystalizační příměsi**

Pro práci bylo třeba zajistit vzorky jednotlivých druhů krystalizací. Krystalizační příměsi na českém trhu poskytují např. firmy Mapei, Chryso, Moramis, Redrock, Nekap a Sika. Celkem bylo použito 7 druhů krystalizačních příměsí.

Krystalizace Krystol Mix od firmy Redrock nebyla použita pro zkoušku vodotěsnosti, ale pouze pro zkoušku kapilární vztlakovosti. Všechny krystalizační příměsi jsou práškové až na kapalnou Conseal Admix Liquid firmy Chryso. Jejich bližší popis a vlastnosti jsou popsány v Kap. 5.

### **6.2. Cement**

Jako pojivo byl použit Cement Hranice 42,5 R volně ložený, který vzniká semletím portlandského slínku, síranu vápenatého a doplňujících složek. Pro tento cement je typický rychlý nárůst pevností, vysoká počáteční pevnost a rychlý vývin hydratačního tepla (není vhodný pro masivní betonové stavby). Základní charakteristiky CEM I 42,5 R Hranice jsou uvedeny v Tab. 12.

**Tab. 12: Základní charakteristiky CEM I 42,5 R**

Základní charakteristiky	Vlastnost	
Cement pro obecné použití	CEM I	
Normalizovaná pevnost v tlaku [MPa]	≥ 42,5	≤ 62,5
Počátek tuhnutí [min]	≥ 60	
Objemová stálost [mm]	≤ 10,0	
Nerozpustný zbytek [%]	≤ 5,0	
Ztráta žíháním [%]	≤ 5,0	
Obsah síranů (jako SO <sub>3</sub> )	≤ 4,0	
Obsah chloridů	≤ 0,1	
Obsah Na <sub>2</sub> O ekv. * [%]	≤ 0,78	
* Na <sub>2</sub> O ekv. = Na <sub>2</sub> O + 0,658 K <sub>2</sub> O		

### **6.3. Voda**

Na vodu používanou v betonech jsou kladeny nároky dle ČSN EN 1008: Záměsová voda do betonu [17]. Všechny tyto nároky splňuje pitná voda z vodovodního řadu, která byla pro výrobu vzorků použita.

### **6.4. Kamenivo**

Pro výrobu vzorků pro zkoušku hloubky průsaku tlakovou vodou bylo použito následující kamenivo s danou frakcí, nasákavostí, úpravou a původem. Charakteristiky jsou uvedeny v Tab. 13.



**Tab. 13: Použité kamenivo**

<b>Frakce</b>	<b>Původ kameniva</b>	<b>Úprava kameniva</b>	<b>Nasákavost kameniva [%]</b>
0/4	Tovačov	Těžené	2,00
4/8	Tovačov	Těžené	1,10
8/16	Hrabůvka	Drcené	0,80

## 6.5. Superplastifikátor

Pro snížení nutného obsahu vody v betonu byl použit superplastifikátor MasterGlenium SKY 665. Tato univerzální superplastifikační přísada je určena především pro výrobu transportbetonu z důvodu velmi dobrého ztekucení s dlouhotrvajícím účinkem. Do čerstvého betonu je výrobcem doporučována přidat s poslední třetinou záměsové vody. Technické údaje přísady jsou v Tab. 14.

**Tab. 14: Technické údaje superplastifikátoru G665**

<b>Skupenství</b>	Kapalina
<b>Barva</b>	Hnědá
<b>Objemová hmotnost při 20 °C [g/cm<sup>3</sup>]</b>	1,05 ± 0,02
<b>Hodnota pH při 20 °C</b>	6,0 ± 1,0 po výrobě
<b>Obsah chloridů max.</b>	0,1 % hm.
<b>Obsah alkálií max. (ekvivalent Na<sub>2</sub>O)</b>	1,1 % hm.

Použitý superplastifikátor G665 se ukázal jako málo účinný, a tak bylo přikročeno ke změně. Pro referenční záměs a záměsi s krystalizační příměsí byl použit superplastifikátor Sika Viscocrete 4088, který se ukázal jako více účinný. Jeho použití, dostatečně snížilo třecí

síly mezi zrny cementu a kameniva a umožnilo snížit spotřebu záměsové vody. Jeho technické údaje jsou uvedeny v Tab. 15.

**Tab. 15: Technické údaje superplastifikátoru Sika Viscocrete 4088**

<b>Skupenství</b>	Kapalina
<b>Barva</b>	Nažloutlá
<b>Chemická báze</b>	Vodný roztok modifikovaných polykarboxylátů
<b>Objemová hmotnost při 20 °C [kg/l]</b>	1,06
<b>Hodnota pH při 20 °C</b>	4,5 ± 0,5
<b>Obsah chloridů max.</b>	≤ 0,1 %
<b>Obsah alkálií max. (ekvivalent Na<sub>2</sub>O)</b>	≤ 1,0 %

Doporučená dávka superplastifikátoru Sika Viscocrete 4088 se pohybuje pro střední hodnoty konzistence 0,3 – 0,7 % z hmotnosti cementu. U betonů s nízkým vodním součinitelem a samozhutnitelné betony, lze použít 0,6 – 1,4 % hmotnosti cementu. Pro optimální využití snížení množství vody je třeba čerstvý beton promíchat minimálně 90 vteřin.

## 7. Metodika zkoušení

Účelem experimentu bylo vytvořit vzorky o hraně  $a = 150$  mm a ty následně po 28 dnech (i déle) vyzkoušet na hloubku průsaku tlakovou vodou. Pro zkoušku vodotěsnosti byla použita norma ČSN EN 12390-8 [19]. Tato norma stanovuje metodu pro ztvrdlý beton, který byl ošetřován ve vodě. V rámci experimentu ovšem byla polovina vzorků ošetřována ve vodě a druhá byla hned po odformování po dobu 3 hodin umístěna v sušárně při  $t = 105$  °C a poté udržována v suchém laboratorním prostředí po dobu 14 dní. Po této době byly vzorky uloženy

taktéž ve vodním prostředí. Tento postup měl ověřit, zda dojde k aktivaci krystalizačních přísad.

### Měřené vlastnosti betonu

- konzistence čerstvého betonu (dle sednutí kužele) dle ČSN EN 12350-2 [20],
- objemová hmotnost dle ČSN EN 12390 – 6 [32] a ČSN EN 12390 – 7 [31],
- vodotěsnost dle ČSN EN 12390 – 8 [19].

Jako první se získal potřebný materiál, aby byly zajištěné stejné suroviny pro všechny záměsi. Vše se nacházelo v uzavřených nádobách. Následná receptura použitá pro samotné míchání, byla odvozena z již použité receptury pro účely zkoumání vodotěsnosti ztvrdlého betonu s použitím krystalizačních přísad.

V této práci bylo úkolem navrhnout beton třídy C 25/30 XC4. Receptura pro první míchání je v Tab. 16. [5]

**Tab. 16: Receptura 1. záměsi**

Složka		1 m <sup>3</sup> [kg]	25 l [kg]
Cement		300,00	7,50
Voda		150,00	3,80
Kamenivo	0/4	871,00	21,80
	4/8	152,00	3,80
	8/16	871,00	21,80
Přísada	G665	2,50	0,050

Receptura, ze které se vycházelo, je vytvořena pro třídu betonu C20/25 XC3. Vzhledem ke změně třídy betonu, je obsah cementu zvýšen na 300 kg/m<sup>3</sup>. Konzistence směsi byla požadována S3 (100 – 150 mm). Při daném množství vody, se ovšem čerstvý beton jevil velmi suchý a pohyboval se na hranici S1 (10 – 40 mm). Objevily se taktéž problémy s cementem, z tohoto důvodu byl pro další míchání použit nový.

V druhé záměsi byla použita stejná receptura s novým cementem, ovšem konzistence čerstvého betonu byla velmi suchá a nebyla použita pro referenční záměs. Ve třetí záměsi byl změněn poměr kameniva ve prospěch frakce 0/4 a byl zvýšen objem vody a přísady G655.

Daná receptura je uvedena v Tab. 17. Použitý plastifikátor G655 ovšem čerstvý beton dostatečně neztekutí.

**Tab. 17: Receptura 2. záměsi**

Složka		1 m <sup>3</sup> [kg]	25 l [kg]
<b>Cement</b>		300,00	7,50
<b>Voda</b>		168,00	4,20
<b>Kamenivo</b>	0/4	914,00	22,85
	4/8	144,00	3,60
	8/16	772,00	19,30
<b>Přísada</b>	G665	3,00	0,075

V záměsi č. 4 jsem byl z tohoto důvodu použit účinnější plastifikátor Sika Viscocrete 4088. Byl změněn znovu poměr kameniva a upravena dávka vody. Množství jednotlivých složek výsledné receptury je uveden v Tab. 18.

**Tab. 18: Návrh receptury referenčního betonu C25/30 XC4**

Složka		1 m <sup>3</sup> [kg]	25 l [kg]
<b>Cement</b>		300,00	7,50
<b>Voda</b>		176,00	4,40
<b>Kamenivo</b>	0/4	947,00	23,70
	4/8	156,00	3,90
	8/16	819,00	20,46
<b>Přísada</b>	G665	3,00	0,100

Dávkování krystalizačních příměsí bylo zvoleno dle doporučeného množství uvedeného výrobcem v technickém listu. Zde bývá uvedena minimální a maximální hodnota příměsí vzhledem k množství cementu. Použité množství příměsí v této práci, se rovná jeho střední hodnotě. Zvolené množství použité příměsí je uvedeno v Tab. 19.

**Tab. 19: Množství použité příměsi**

Druh krystalizační příměsi	Optimální hodnota dávkování [%]	Střední hodnota [%]	Množství příměsi na 1 m <sup>3</sup> [kg]	Množství příměsi pro 25 l [g]
Idrocrete KR 1000	1,00 – 3,00	2,00	6,00	150,00
Akvatron 12	0,40 - 1,00	0,70	2,10	52,50
Sika WT – 200 P	1,00 - 2,00	1,50	4,50	112,50
Conseal Admix Liquid	1,00	1,00	3,00	75,00
Xypex Admix C - 1000 (NF)	0,50 – 1,50	1,00	3,00	75,00
Xypex Admix C - 1000	1,00 – 3,00	2,00	6,00	150,00

### 7.1. Postup přípravy betonu a ošetřování těles

V technických listech jednotlivých příměsí jsou uvedeny pozitivní vlastnosti jako snižování pronikání tlakové vody, snížení kapilární absorpce betonu, zvyšování odolnosti vůči chemickým namáháním. Pouze Sika dále uvádí přesné požadavky na vytvářený beton při použití příměsi Sika WT – 200 P. Je podmíněno minimálním množstvím cementu 350 kg/m<sup>3</sup> a maximálním vodním součinitelem 0,45. Výrobci vesměs neuvádějí, pro jaké typy betonů je použita příměs nejvíce účinná. Zda pro betony nižších či vyšších tříd. Je zřejmé, že při minimální dávce cementu 350 kg/m<sup>3</sup>, maximálním vodním součinitelem 0,45 a vhodným způsobem technologického ošetřování, bychom měli být schopni vyrobit dostatečně trvanlivý (vodotěsný) beton i bez použití krystalizační příměsi.

Tento experiment se zabývá betonem s dávkou cementu 300 kg/m<sup>3</sup> a zároveň s maximálním vodním součinitelem 0,5. Nebylo naším účelem vytvořit beton s výrazně nižším součinitel z toho důvodu, že čím nižší, je vodní součinitel, tím předpokládáme hutnější strukturu cementového kamene a prokázání účinků krystalizace by se mohlo ztížit.

V technických listech krystalizací byly uvedeny informace o jejich aplikaci do čerstvého betonu. Tyto údaje se lišily jak v podrobnosti, tak v postupu. Ovšem vždy bylo účelem dosáhnout pečlivého rozptýlení příměsí.

Každá betonová záměs byla vyhotovena v laboratorním prostředí, které mělo teplotu  $t = 20\text{ °C}$  a samotné míchání probíhalo následujícím postupem.

### **Postup přípravy referenčního betonu**

- a) Navážení jednotlivých surovin – kameniva tří frakcí, cementu, vody a superplastifikátoru.
- b) Navlhčení jednotlivých částí míchacího zařízení – lopatek i bubnu, aby nedocházelo k nežádoucímu odnětí záměsové vody z čerstvého betonu.
- c) Nasypání kameniva do bubnu míchacího zařízení a přidání části vody. Spuštění míchacího zařízení po dobu 1 minuty. Poté se zařízení zastaví, po dobu 2 minut z důvodu čekání, aby kamenivo mohlo vtáhnout vodu do svých dutin a pórů.
- d) Přidání cementu na rozprostřené kamenivo a přihrnutí cementu zednickou lžící pro zamezení nadměrné prašnosti při spuštění míchacího zařízení.
- e) Během následujícího režimu míchání se přidá zbývající voda spolu se superplastifikátorem a míchání probíhá 2 minuty. Po 2 minutách je míchací zařízení zastaveno, a zednickou lžící se přemístí obsah míchačky z kraje doprostřed, aby se docílilo kvalitního promíchání ve všech částech.
- f) Na závěr běží míchačka další 2 minuty. Celkový čas míchání referenční záměsi je 7 minut.

### **Postup přípravy betonu s přidanou krystalizační příměsí**

Postup přípravy byl shodný jako u postupu výroby referenčního betonu s tím rozdílem, že na závěr míchání (v 5. minutě) byla přidána krystalizační příměs. Celkový čas míchání čerstvého betonu s krystalizační příměsí byl 9 min.

Dávkování probíhalo do forem ošetřených minerálním olejem. Formy byly plněny ve dvou vrstvách, hutněny na vibračním stolci a poté zarovnány zednickou lžící. Poté byly uloženy v laboratorním prostředí překryté fólií, aby bylo zabráněno nadměrnému odpařování vody a předčasnému vzniku smršťovacích trhlin v cementovém kameni. Druhý den byly vzorky odformovány. Polovina vzorků byla uložena do sušárny při teplotě  $t = 105\text{ °C}$  po dobu 3 hod. Následně byly vzorky vyjmuty a uloženy na suchu v laboratoři. Druhá

polovina vzorků byla bezprostředně po odformování uložena v kádích s vodou. Teplota voda v kádích se pohybovala okolo  $20 \pm 2$  °C.

Označení vzorků referenční záměsi a záměsi s krystalizačními příměsemi spolu s jejich uložením je uvedeno v Tab. 20.

**Tab. 20: Označení vzorků pro zkoušku vodotěsnosti**

Označení záměsi	Označení vzorků	Krystalizační příměs	Uložení
R	R1 – R3	Referenční záměs	V kádi s vodou
	R4 – R6	Referenční záměs	Sušárna, suché laboratorní prostředí (14 dní) + 14 dní v kádi s vodou
I	I1 – I3	Idrocrete KR 1000	V kádi s vodou
	I4 – I6	Idrocrete KR 1000	Sušárna, suché laboratorní prostředí (14 dní) + 14 dní v kádi s vodou
A	A1 – A3	Akvatron 12	V kádi s vodou
	A4 – A6	Akvatron 12	Sušárna, suché laboratorní prostředí (14 dní) + 14 dní v kádi s vodou
S	S1 – S3	Sika WT – 200 P	V kádi s vodou
	S4 – S6	Sika WT – 200 P	Sušárna, suché laboratorní prostředí (14 dní) + 14 dní v kádi s vodou
C	C1 – C3	Conseal Admix Liquid	V kádi s vodou
	C4 – C6	Conseal Admix Liquid	Sušárna, suché laboratorní prostředí (14 dní) + 14 dní v kádi s vodou
NF	NF1 – NF3	Xypex Admix C1000 NF	V kádi s vodou
	NF4 – NF6	Xypex Admix C1000 NF	Sušárna, suché laboratorní prostředí (14 dní) + 14 dní v kádi s vodou
C1000	C1000 1 – 3	Xypex Admix C1000	V kádi s vodou
	C1000 4 - 6	Xypex Admix C1000	Sušárna, suché laboratorní prostředí (14 dní) + 14 dní v kádi s vodou

## 7.2. Zkouška čerstvého betonu sednutím

U čerstvého betonu byla požadována konzistence S2 – S3. U referenční záměsí se korekcí receptury a záměnou superplastifikátoru podařilo dosáhnout konzistence S3. U dalších záměsí s přidavkem krystalizační příměsí byla taktéž měřena konzistence zkouškou sednutím a to z důvodu zjištění, jak přidaná krystalizace ovlivní konzistenci čerstvého betonu.

### Zkušební zařízení

- propichovací tyč
- násypka
- podkladní deska
- lopatka
- nádoba (průměr dolní základny:  $200 \pm 2$  mm, průměr horní základny:  $100 \pm 2$  mm, výška:  $300 \pm 2$  mm)

### Zkušební postup

- a) Formu i podkladní desku navlhčíme a formu položíme na vodorovně položenou podkladní desku. Formu je třeba během plnění přichytit pevně chodidly za pomoci dvou přílozek.
- b) Nádoba se plní ve třech vrstvách, každá o 1/3 kužele. Každou vrstvu zhutníme 25 vpichy propichovací tyčí tak, abychom vždy zasáhly do předchozí plněné vrstvy. Pokud po závěrečném zhutnění beton nedosahuje až k hornímu okraji, je nutno beton doplnit. Přebytečný beton odstraníme.
- c) Forma se během 5 sekund zvedne a ihned po zvednutí se změří výška sednutí  $h$  [mm].

Výsledek zkoušky sednutí kužele je platný pouze v případě, kdy nedojde k jeho usmyknutí. Dle výšky sednutí zatřídíme beton k dané konzistenci. Rozmezí jednotlivých tříd je uvedeno v Tab. 21.



**Tab. 21: Zkouška sednutím (Slump test)**

Stupeň	Sednutí [mm]	Slovní popis
S1	10 – 40	Směs tuhá
S2	50 – 90	Směs plastická
S3	100 – 150	Směs měkká
S4	160 – 210	Směs velmi měkká
S5	≥ 220	Směs tekutá

### 7.3. Objemová hmotnost

Objemová hmotnost je definována jako poměr hmotnosti k jeho objemu. Zjištěná objemová hmotnost se zaokrouhlí na nejbližších 10 kg/m<sup>3</sup>. Stanovení objemové hmotnosti provedeme dle:

$$\rho = \frac{m}{V} \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \quad (1)$$

kde,  $m$  je hmotnost [kg],

$V$  je objem zkoušeného vzorku [m<sup>3</sup>].

#### Objemová hmotnost čerstvého betonu

Při stanovení objemové hmotnosti čerstvého betonu zvážíme prázdnou formu o známých rozměrech a poté formu naplněnou a zhutněnou. Formy byly zváženy s přesností 0,01 kg. Výsledkem je aritmetický průměr tří vzorků, kdy konečná objemová hmotnost byla zaznamenána s přesností na nejbližších 10 kg/m<sup>3</sup>.

#### Objemová hmotnost ztvrdlého betonu

Objemové hmotnosti byly měřeny před vložením těles do kádí s vodou a poté měřeny a počítány ve dnech započetí zkoušky vodotěsnosti. Měření rozměrů pro objemovou hmotnost ztvrdlého betonu bylo uskutečněno digitálním posuvným měřidlem s přesností na 0,01 mm. Konečná objemová hmotnost byla zaznamenána s přesností na nejbližších 10 kg/m<sup>3</sup>.

## 7.4. Hloubka průsaku tlakovou vodou

Podstatou zkoušky vodotěsnosti je maximální hloubka průsaku tlakovou vodou, kdy se ponechá tlaková voda působit na povrch ztvrdlého betonu. Po ukončení zkoušky vodotěsnosti se zkušební těleso rozlomí, vyznačí se průsak tlakové vody tělesem a změří se maximální hloubka průsaku vody. Zkušební těleso musí být krychle, válec nebo hranol o délce hrany nebo průměru minimálně 150 mm. Žádný rozměr nesmí být menší než 100 mm.

### Zkušební zařízení

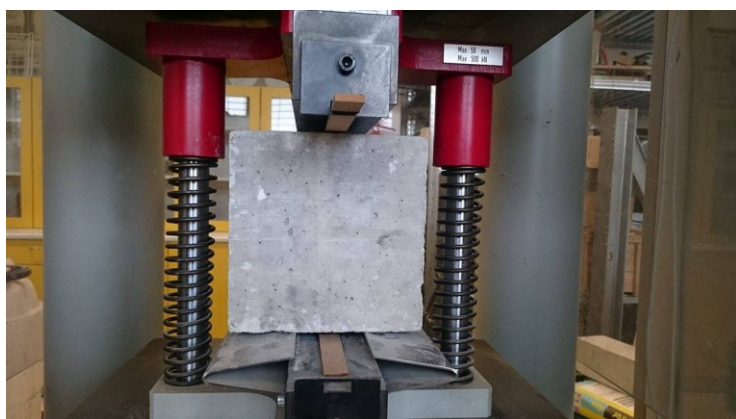
- Zařízení, jež umožní upnutí zkušebních vzorků tak, aby tlaková voda po spuštění přístroje mohla bez ustání působit na zkušební plochu. V našem případě byla tlačena voda napuštěna ve válcích o objemu 1 l, čili bylo možno měřit přesný úbytek vody.



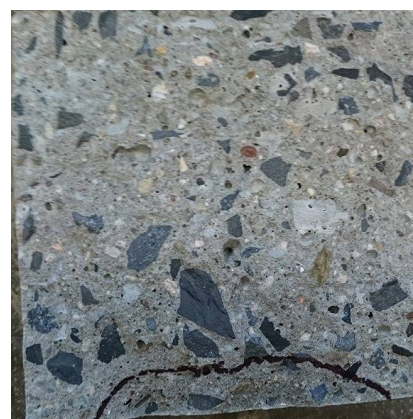
Obrázek 4: Použité zařízení pro zkoušku V5

## Zkušební postup

- a) Hned po odformování zkušebních těles, zkušební plochu zdrsíme ocelovým kartáčem. Je možno vybrat každou plochu, s výjimkou plochy plnění. Vzorky označíme. Vzorky s číslem 1 – 3 uložíme do kádě s vodou. Vzorky s čísly 4 – 5 vložíme do sušárny a sušárnu zapneme po dobu 3 hodin při teplotě  $t = 105\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Poté vzorky vytáhneme a necháme na vzduchu v laboratorním prostředí po dobu 14 dní.
- b) Po uplynutí 14 dní vzorky zvážíme, změříme a vypočítáme objemovou hmotnost. Následně je vložíme do kádě s vodou. Zde budou uloženy minimálně 14 dnů. Změříme a zvážíme i vzorky, které jsou uloženy v kádích s vodou.
- c) Zkoušku vodotěsnosti zahájíme v minimálním stáří vzorků 28 dní. Zkušební vzorky upneme do zařízení a necháme na ně působit vodní tlak  $500 \pm 50\text{ kPa}$  po dobu  $72 \pm 2$  hodin. Během trvání zkoušky kontrolujeme stav povrchů, na něž nepůsobí tlaková voda, zda se zde neobjevují průsaky. V případě, že se objeví průsak, je vhodné uvážit platnost výsledku a skutečnost zaznamenat do závěru.
- d) Po skončení předepsané doby působení vodního tlaku na zkušební plochu, vyjmeme zkušební vzorek ze zařízení a povrch tělesa, na které působila voda, otřeme, abychom odstranili přebytečnou vodu. Vzorek rozloíme v polovině, kolmo na plochu, na kterou působila tlaková voda a položíme ho tak, aby plocha, na kterou bylo působeno tlakovou vodou, byla dole.
- e) Po dostatečném oschnutí tlakové vody, kdy zřetelně vidíme průsak vody, označíme hranici průsaku a změříme největší hloubku průsaku zkušební plochy na nejbližší milimetr.



**Obrázek 5: Rozlomení tělesa po zkoušce V5**



**Obrázek 6: Zaznačení hranice průsaku vzniklého tlakovou vodou**

## 7.5. Kapilární absorpce

Zkouška kapilární absorpce se provádí dle ČSN EN 480 – 5 [24]. Její podstata sestává z měření absorbovaného množství vody zkušebním vzorkem malty za stanovených podmínek. Pro naše měření byly vytvořeny zkušební vzorky s přísadou a zkušební vzorky referenční bez přísady dle ČSN EN 480 – 1 [22]. Tyto vzorky byly ošetřovány za normových podmínek. Poté byly zváženy a umístěny do kádí s vodou, kde mohla probíhat absorpce vody. Následně byly vzorky v jednotlivých časových intervalech váženy. Výsledná kapilární absorpce se udává v  $[g/mm^2]$  a počítá se dle vzorce:

$$C_A = \frac{M_j - M_0}{1600} \left[ \frac{g}{mm^2} \right] \quad (2)$$

kde  $M_j$  je hmotnost zkušebního tělesa po 7 denním nebo 90 denním ošetření  $[g]$ ,

$M_0$  je hmotnost zkušebního tělesa po předepsané absorpční době  $[g]$ .

### Zkušební zařízení

- Váhy s přesností vážení na 0,1 g.
- Nádoba vysoká minimálně 200 mm, s plochým dnem a víkem a s dostatečnou kapacitou pro uložení trámečků.
- Zařízení pro přípravu trámečků o velikosti 40 x 40 x 160 mm dle ČSN EN 196 – 1 [21].

Referenční malta pro výrobu trámečků se vyrobí dle ČSN EN 480 – 1 [22]. Zkušební malta s přísadou pak musí mít stejnou konzistenci jako kontrolní malta bez příměsí, popřípadě musíme dodržet stejný vodní součinitel. V případě stejného vodního součinitele v maltě se zohledňuje i voda obsažená v příměsí. V experimentu jsme využili míchání trámečků za pomoci stejného vodního součinitele. Pro srovnání byla provedena zkouška konzistence dle ČSN EN 1015 – 3 [23], aby bylo zjištěno, jak jednotlivé příměsí ovlivňují tekutost čerstvé malty. V Tab. 22 je uvedeno složení referenční malty.

**Tab. 22: Receptura referenční malty**

Složka	Množství pro 1 formu
Cement	$450 \pm 2$ g
Voda	$225 \pm 1$
Písek	$1350 \pm 5$
Příměs	Dle technického listu

Pro každý druh záměsi bylo vyrobeno 6 referenčních trámečků. Celkem 8 záměsí, jedna bez příměsi a dalších 7 záměsí s krystalizační příměsí. Množství přidané krystalizační příměsi bylo odvozeno od doporučeného množství uvedeného výrobcem v technickém listu. Pro shodné množství příměsi jako u vzorků pro zkoušku maximální hloubky průsaku byla zvolena střední hodnota z doporučeného množství dávkování. V případě tekuté příměsi Conseal Admix Liquid firmy Chryso bylo zohledněno množství vody obsažené v příměsi. Postup výroby referenční malty a těles je uveden v následujícím odstavci.

#### **Zhotovení zkušebních těles**

- Pro každou záměs odvážíme  $450 \pm 2$  g cementu,  $1350 \pm 5$  g normalizovaného písku plynulé granulometrie,  $225 \pm 1$  g vody a dané množství příměsi.
- Suchý písek a cement se míchají 30 sekund při nízkých otáčkách v míchačce.
- V dalších 30 sekundách se přidá při nízkých otáčkách všechna voda a přísada do zkušební směsi. Dalších 60 sekund míchací zařízení pokračuje v míchání.
- Míchání se zastaví a v průběhu probíhajících 30 sekund se setřou stěrkou lopatky a okraje nádoby.
- Znovu spustíme míchání a pokračujeme v něm 60 sekund vysokou rychlostí. Celková doba míchání se rovná 3 minutám a 30 sekundám.
- Do 5 min od ukončení míchání provedeme zkouškou konzistence za použití střešacího stolu.
- Zkušební formy pro přípravu trámečků nesmějí být naolejovány. Do připravených forem se ihned po provedení zkoušky konzistence začne vhodnou lžící vpravovat připravená malta. Formu hutníme na magnetickém vibračním stolci po dobu 120 sekund. Formu poté doplníme po okraj, znovu zhutníme a její povrch zarovnáme.

- h) Na formu položíme skleněnou destičku o rozměru 210 x 185 x 6 mm. Forma se uloží do vlhkostní komory.
- i) Po odformování těles, na druhý den, tělesa uložíme do vlhkostní komory o stálé teplotě  $t = 20 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  po určenou dobu před zahájením samotného zkoušení.

### **Zkušební postup**

- a) Po uplynutí 7 dní se zkušební trámečky vyjmou z vlhkostní komory, zváží se a jejich váha se zaznamená, jako hodnota  $M_0$ .
- b) Trámečky umístíme svisle do nádoby s vodou o konstantní hladině tak, aby se vzájemně nedotýkala. V nádobě musí být umožněn volný přístup vody k základně tělesa a hladina vody musí být udržována ve výšce  $3 \pm 1 \text{ mm}$  nad základnou tělesa. Nádobu uzavřeme.



**Obrázek 7: Uložení trámeček pro zkoušku kapilární absorpce**

- c) V jednotlivých zkušebních časech vyjmeme trámečky z nádoby, lehce je otřeme látkou, abychom z povrchu odstranili přebytečnou vodu. Takto připravená tělesa zvážíme a jejich váha se zaznamená, jako hodnota  $M_j$ . Bezprostředně po jejich zvážení se tělesa opět umístí do nádoby.
- d) Zkušební tělesa ošetřována 7 dní ve vlhkostní komoře jsou po svém svislém umístění do nádoby s vodou váženy po 1 denním, 7 denním a 14 denním kontaktu.
- e) Výsledek celkové kapilární absorpce je zjištěn dle vzorce (2) zkouškou 6 zkušebních těles v jednotlivých termínech a vyjádří se jako průměr 6 naměřených hodnot.

## **7.6. Zkouška konzistence čerstvé malty za použití střešacího stolku**

Při výrobě zkušebních trámečků pro zkoušku kapilární vztlakovosti, uvádí norma ČSN EN 480-5 [24] použití stejného vodního součinitele záměsí či stejné konzistence. V našem případě jsme využili stejného vodního součinitele. Přesto byla provedena zkouška konzistence čerstvé malty dle ČSN EN 1015-3 [23]. Zkouška konzistence čerstvé malty slouží k ověření shodných vlastností všech připravovaných druhů malty. Zkouškou konzistence čerstvé malty bude ověřeno, zda dochází k ovlivnění konzistence malty vlivem krystalizační příměsi.

Hodnotu rozlité stanovíme změřením průměru rozlitého vzorku čerstvé malty, která je umístěna na desce střešacího stolku ve dvou na sebe kolmých směrech.

### **Zkušební zařízení**

- Střešací stolek, popsáný v příloze A dle ČSN EN 1015-3.
- Kovový komolý kužel z korozivzdorné oceli nebo mosazi následujících rozměrů: výška  $60 \pm 0,5$  mm, vnitřní průměr ve spodní části  $100 \pm 0,5$  mm a vnitřním průměru  $70 \pm 0,5$  mm v horní části. Vnitřní povrch kovového kužele i jeho okraje musí být hladké.
- Dusadlo z tuhé tyče kruhového průřezu a nenasákavého materiálu. Průměr dusadla by měl být kolem 40 mm s délkou cca 200 mm.
- Měřidlo umožňující měření do 300 mm s přesností 1 mm.
- Zednická lžice, špachtle.

### **Zkušební postup**

- a) Připravenou maltou dle ČSN EN 480 – 1 [22] naplníme komolý kužel s nástavcem, umístěným ve středu střešacího stolku ve dvou vrstvách. Každou vrstvu zhutníme lehce a rovnoměrně 10 údery dusadla.
- b) Povrch malty zarovnáme špachtlí spolu s odstraněním nástavce. S povrchu střešacího stolu setřeme případnou přebytečnou maltu a zvedneme kužel. Čerstvá směs je rozlita 15-ti nárazy střešacího stolku.
- c) Výsledkem zkoušky je průměr hodnot naměřených ve dvou na sebe kolmých směrech s přesností na 1 mm.



K provedení zkoušky byl použit střešací stolek typu FORM+TEST, který je ovládaný manuálně. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 29.



**Obrázek 8: Střešací stolek FORM+TEST**

## **7.7. Spektrometr**

Rentgenová fluorescenční analýza (XRF) se používá především při analýzách pevných vzorků, kde je využívána jako jedna z nejrozšířenějších metod atomové spektroskopie subvalenčních elektronů. Principem metody je excitace elektronů z vnitřních obalových slupek atomů. Následně dochází k přeskokům elektronů z vyšších hladin na prázdná místa. Při těchto přesunech, dochází k charakteristickému vysílání fluorescenčního RTG záření. Toto sekundární RTG záření, jsme schopni zachytit. Jejím výstupem je čárové spektrum, ve kterém je zobrazen počet pulsů za sekundu a určitá energie. Ta je typická a rozpoznatelná, pro každý druh prvku. Metodou nejsme schopni zachytit lehčí prvky než sodík.

Rentgenová lampa, kterou proběhlo měření na Fakultě stavební, vysílá tzv. primární gama záření. Záření dopadá na vzorek, dochází k excitaci elektronů z obalů jednotlivých



atomů a uvolněné specifické sekundární záření dopadá na detektor v přístroji. Přístroj je vybaven výpočetním systémem se 3 mikroprocesory, který zpracovává data z detektoru a z jednotlivých parametrů vypočítá koncentrace jednotlivých prvků v měřeném vzorku. Výsledky jsou ukládány do vnitřní paměti a lze je posléze otevřít v počítači, kde je možné je dále zpracovávat. [33], [34]



**Obrázek 9: Spektrometr XL3T GOLDD [33]**

## **7.8. Kalorimetr**

Pro zjištění vývinu hydratačního tepla vyvíjeného cementem, byl použit přístroj Kalorimetr DIK 04. Do kalorimetru je umístěn vzorek cementu s krystalizační příměsí a vodou. Přístroj měří vývin hydratačního tepla ve stupních, který je schopen generovat v závislosti na čase. Z výsledného průběhu hydratačního tepla lze určit, jak přidaná krystalizační příměs ovlivňuje samotnou hydrataci cementu.

## **7.9. Diferenční skenovací kalorimetrie spojená s termogravimetrií**

Diferenční kalorimetr SDT Q600 analyzuje několik vlastností v rámci jednoho měření – v tomto případě DSC/TG analýzy. Diferenční skenovací kalorimetr funguje na principu měření změn hmotnosti v závislosti na teplotě, případně čase, z čehož se posléze vytvoří termogravimetrická křivka vyjadřující souvislost mezi teplotou, časem a hmotností. SDT Q600 pracuje se vzorky o hmotnosti do  $m = 200$  mg. Rozlišovací schopnost přístroje je

0,1 µg. Teplotní rozsah se pohybuje do výše 1500 °C, přičemž těchto vyšších teplot je většinou obtížné dosáhnout.

Zkoušené vzorky se umístí do nádobek, přičemž referenční nádobka je většinou prázdná. Nádobky mají vlastní teplotní čidlo a kalorimetr zaznamenává jakékoliv změny teploty. Ty vyhodnocuje jako teplotní tok mezi nádobkami a převede je na energetický ekvivalent.

Výsledná interpretace je založena na pozici endotermních a exotermních reakcí, úbytcích hmotnosti na křivce TG nebo na extrémech její derivace a mechanismu dehydroxylace nebo dehydratace fází. [36]

### **7.10. RTG práškový difraktometr**

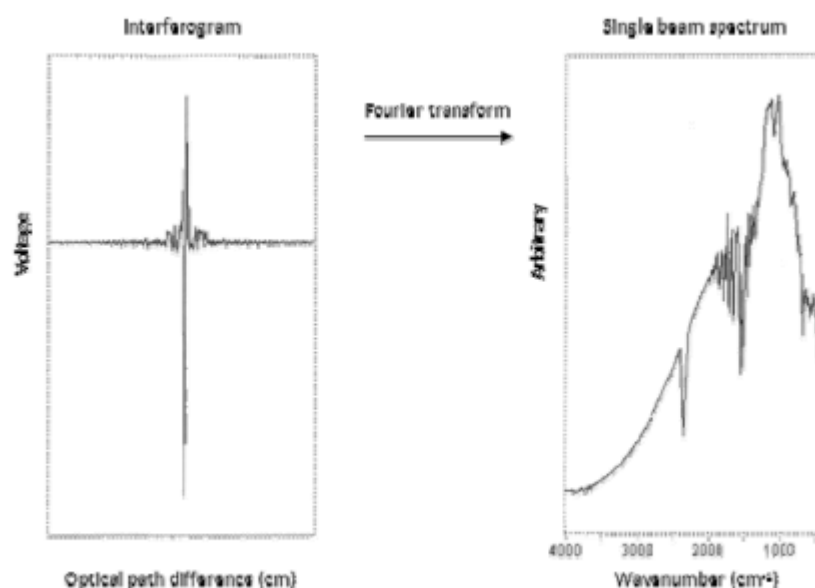
Rentgenová prášková difrakce je nedestruktivní metoda, která určuje přesné fázové složení. Toto si lze vysvětlit například na uhlíku, který má řadu strukturních fází, např. grafit, saze a diamant a každá tato fáze má jiné vlastnosti a strukturu. RTG záření, které působí na vzorek, vyvolává řadu procesů. Pro identifikaci vzorku je důležitá chvíle, kdy dopadající fotony rozkmitají elektrony ve vnějších slupkách a ty se stávají zdrojem elektromagnetického záření, které má stejnou vlnovou délku jako dopadající záření. Toto se nazývá pružný rozptyl (kdy energie a vlnová délka rozptýlených fotonů je stejná jako dopadající), který se dá popsat Braggovou rovnicí, v níž figuruje mezirovinná vzdálenost sousedních atomových rovin, difrakční úhel, vlnová délka dopadajícího a difraktovaného záření a řád reflexe. Při analýze je neznámou mezirovinná vzdálenost. Ta je charakteristická pro jednotlivé fáze a je rozhodující pro určení jednotlivých vzorků.

### **7.11. Infračervená spektroskopie**

Je analytická metoda určená pro identifikaci a strukturní charakterizaci organických a anorganických látek. Principem metody je absorpce infračerveného záření při průchodu zkoušeným materiálem. To souvisí ke změnám rotačně vibračních stavů molekuly. Infračerveným zářením je elektromagnetické záření v rozsahu vlnových délek 0,78 - 1000 mm, což odpovídá rozsahu vlnočtů 12800 – 10 cm<sup>-1</sup>. Tato oblast se dále dělí na oblast

blízkou ( $13000 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ ), střední ( $4000 - 200 \text{ cm}^{-1}$ ) a vzdálenou infračervenou oblast ( $200 - 10 \text{ cm}^{-1}$ ). Výstupem je infračervené spektrum, které je grafickým výstupem závislosti energie, ve většině případů vyjádřené v procentech transmitance (T) nebo jednotkách absorbance (A) na vlnové délce dopadajícího záření.

Pro tuto analýzu byl použit FTIR spektrometr, který měří interferogram modulovaného svazku záření po průchodu vzorkem. Pro získání spektrálního záznamu se provádí Fourierova transformace. Výhodou FTIR analýz je vyšší vstup energie do vzorku, rychlý záznam spektra ( $< 1\text{s}$ ) a vysoké rozlišení (až  $0,01 \text{ cm}^{-1}$ ).



**Obrázek 10: Interferogram - Spektrální záznam**

Cementový kámen betonu po zkoušce vodotěsnosti, byl odebrán pro zkoušku FTIR. Dále byl připraven lisováním do tablet s KBr. KBr je anorganická sůl, která nepohlcuje infračervené záření. Záření jím prochází. Identifikace struktury se provádí porovnáním změřeného spektra s atlasem a databází spekter a srovnáním s DSC/TG analýzou. [13], [14], [15], [37], [38]

## 8. Vyhodnocení jednotlivých zkoušek a analýz

### 8.1. Zkouška čerstvého betonu sednutím

Zkouška sednutím čerstvého betonu s krystalizačními přísadami prokázala u přísad Akvatron 12, Sika WT – 200 P, Xypex C1000 a Xypex C1000 NF ztekucující účinky. Nejvíce výrazné byly u krystalizace Xypex a to u obou jejích druhů. V případě krystalizace Idrocrete KR 1000 a Conseal Admix Liquid došlo pravděpodobně k chemické reakci mezi superplastifikátorem a přísadami. Čerstvý beton změnil svou konzistenci z měkké na plastickou.

Požadovaná konzistence u referenční záměsi byla S2 – S3, to bylo splněno i u záměsí s krystalizačními přísadami. Z výsledků chování čerstvého betonu při použití různých krystalizačních přísad, je nutno doporučit při návrhu receptury, vždy předem odzkoušet vliv a kompatibilitu krystalizací s ostatními složkami betonu na jeho konzistenci. Výsledky zkoušky sednutím jsou v Tab. 23.

**Tab. 23: Výsledky zkoušky sednutím**

Označení záměsi	Sednutí [mm]	Stupeň konzistence
R	120	S3
I	60	S2
A	140	S3
S	130	S3
C	50	S2
NF	150	S3
C1000	160	S4

## 8.2. Objemová hmotnost

Objemová hmotnost vzorků byla měřena u čerstvého betonu vždy u tří vzorků, kdy konečným výsledkem je jejich aritmetický průměr, zaokrouhlený na nejbližších 10 kg/m<sup>3</sup>. Objemová hmotnost ztvrdlého betonu byla měřena po 14 dnech uložení a poté vždy před započítáním zkoušky vodotěsnosti. Objemová hmotnost čerstvého betonu a ztvrdlého betonu po 14 dnech je v Tab. 24 a Tab. 25. Jednotlivá data měření objemových hmotností ve dnech započítání zkoušky vodotěsnosti jsou uvedena v Příloze 1 - 14.

**Tab. 24: Objemová hmotnost čerstvého betonu**

Označení záměsi	Objemová hmotnost čerstvé směsi [kg/m <sup>3</sup> ]
R	2330
I	2350
A	2360
S	2390
C	2340
NF	2320
C1000	2340

**Tab. 25: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu**

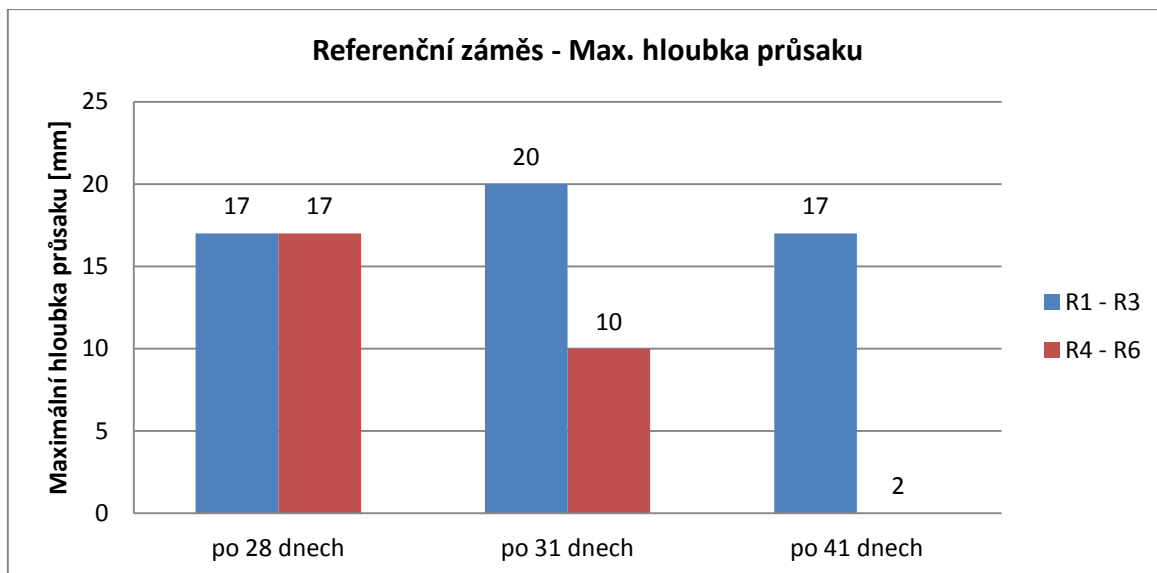
Označení vzorků	Objemová hmotnost po 14 dnech[kg/m <sup>3</sup> ]
R1 – R3	2320
R4 – R6	2250
I1 – I3	2340
I4 – I6	2280
A1 – A3	2330
A4 – A6	2240
S1 – S3	2330
S4 – S6	2270
C1 – C3	2350
C4 – C6	2230
NF1 – NF3	2310
NF4 – NF6	2290
C1000 1 – 3	2300
C1000 4 - 6	2270

### **8.3. Hloubka průsaku tlakovou vodou**

Kapitola hodnotí výsledky a spolehlivost jednotlivých krystalizačních příměsí vzhledem k dosažené hloubce průsaku a dále ekonomickou výhodnost použitých krystalizačních příměsí.

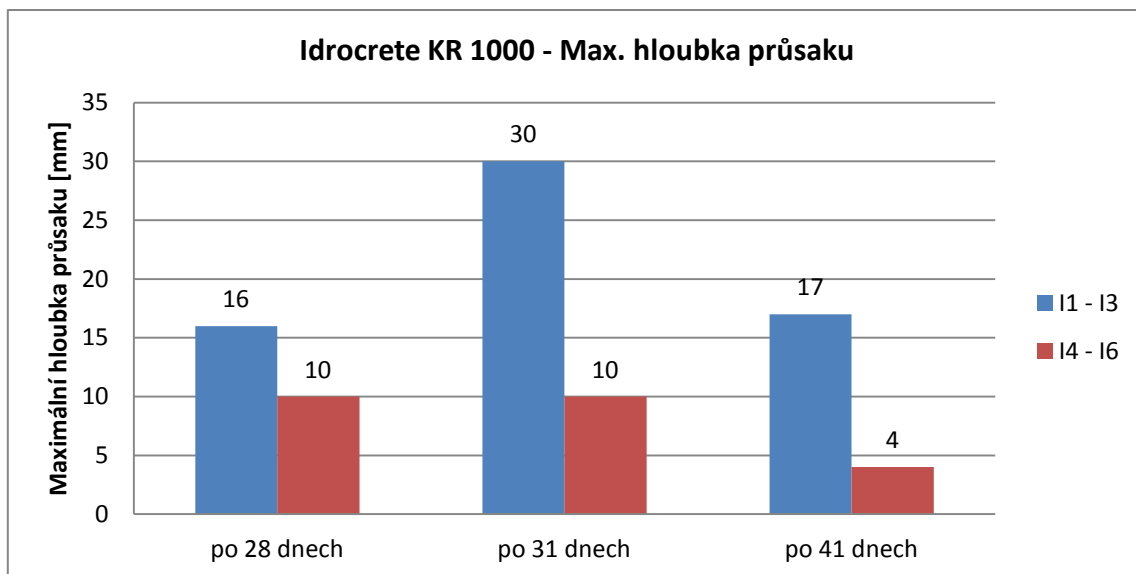
V Kap. 7.4 je podrobně uvedena metodika zkoušení vodotěsnosti v této práci. Jednotlivé vzorky byly zkoušeny po 28 dnech, 31 dnech, 41 dnech, případně 48 dnech. Vzorky, které jsou v grafu vyznačeny „modře“ se nacházely v kádích s vodou po celou dobu od svého odformování a vzorky v grafu vyznačeny „červeně“ byly prvních 14 dní od svého

odformování sušeny s cíleným záměrem vytvoření sítě mikrotrhlin. Následující grafy předkládají rozdíly v maximálním průsaku tlakovou vodou mezi vzorky.



**Graf 1: Referenční záměs - Maximální hloubka průsaku tlakovou vodou**

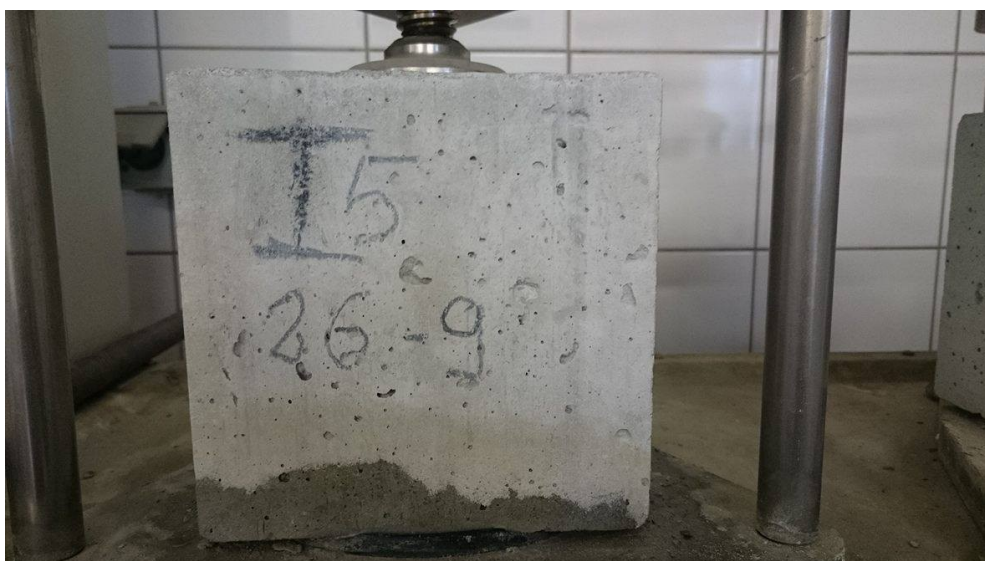
U referenční záměsi z Grafu 1 je patrný rozdíl v maximální hloubce průsaku tlakovou vodou u vzorků, jež byla ošetřována po celou dobu v kádích s vodou a u vzorků, jež byla po 14 dní sušena a až poté vložena do vody. Uložení vzorků R4 – R6 do vody, způsobilo vyhojení betonu, tak výrazné, že se maximální hloubka průsaku snížila ze 17 mm (po 28 dnech) na 2 mm po 41 dnech. U vzorků ošetřovaných po celou dobu v kádích s vodou, nebyl patrný významný rozdíl.



**Graf 2: Idrocrete KR 1000 - Maximální hloubka průsaku tlakovou vodou**

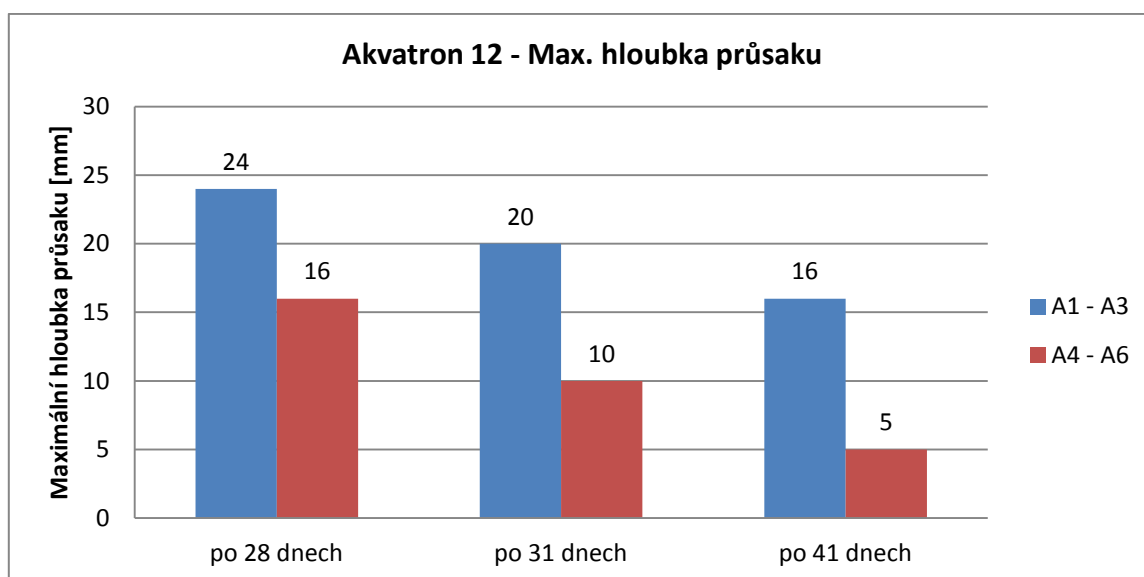
U vzorku I5, který byl zkoušen po 31 dnech, nastal výrazný boční průsak. Tato skutečnost byla zaznamenána a vzorek byl ponechán na stolici a bylo umožněno dokončení zkoušky. Úbytek vody ve válci byl celkem 250 ml.

Maximální průsak vzorku I2 byl po 31 dnech 30 mm. U vzorků I4 – I6 je patrna tendence snižování maximální hloubky průsaku. Po 41 dnech bylo u vzorku I6 dosaženo maximálního průsaku 4 mm. Vyhojení struktury mikrotrhlin oproti vzorkům uloženým po celou dobu ve vodě je zde patrné. Vzorky uložené po celou dobu v kádích s vodou nevykázala výrazné snížení maximální hloubky průsaku.



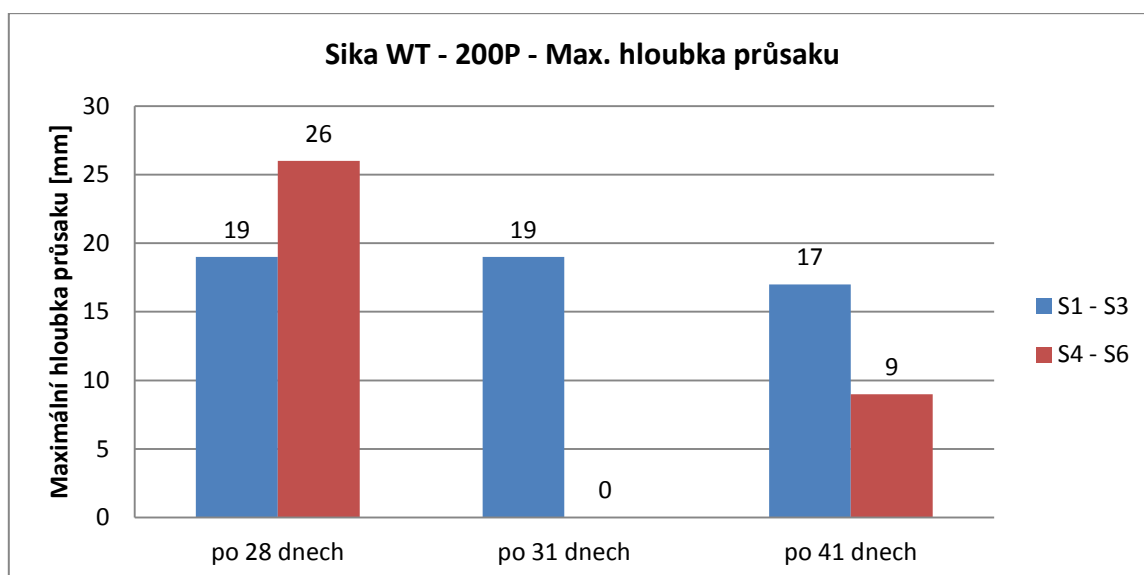
**Obrázek 11: V5 – Vzorek I5 – boční průsak**





**Graf 3: Akvatron 12 – Maximální hloubka průsaku tlakovou vodou**

Vzorek A5 po 31 dnech vykázal při zkoušce boční průsak a celkový úbytek vody z válce byl ~ 330 ml. U ostatních vzorků se boční průsak neprojevil. Nižší maximální průsak je prokazatelně u vzorků s krystalizační příměsí. Záměrné vysušení vzorků a jejich následné uložení do vody podpořilo proces vyhojování.



**Graf 4: Sika WT - 200P - Maximální hloubka průsaku tlakovou vodou**

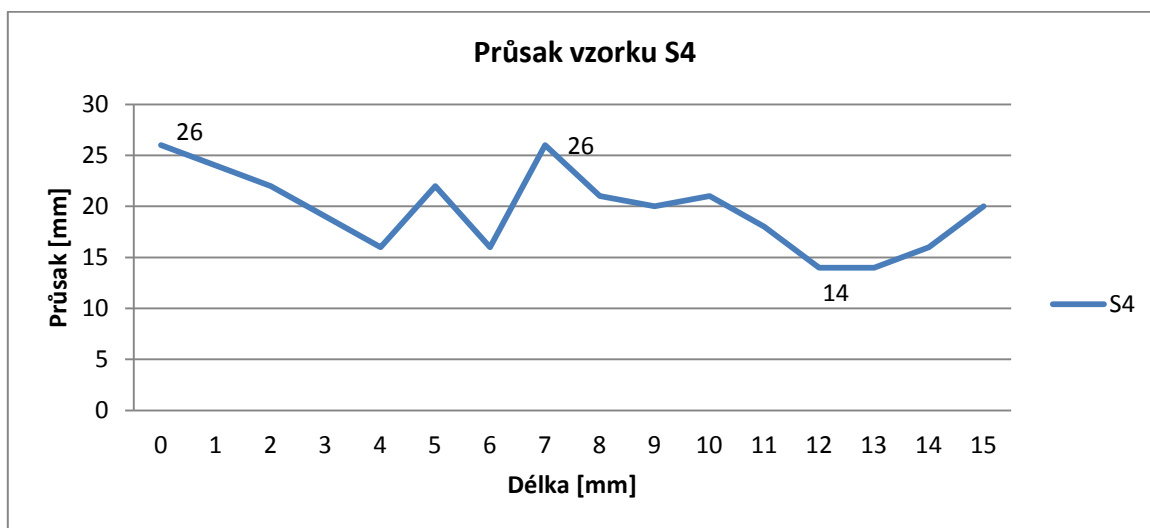
Vzorky S1 – S3 vykazovaly průměrně průsak kolem ~ 18 mm a nebyl zde žádný boční průsak. Vzorek S4 po 28 dnech oproti tomu vykázal průsak větší, než vzorek referenční s výrazným bočním průsakem. Ten lze vidět na Obr. 12 a 13.



**Obrázek 12: Vzorek S4 - boční průsak**



**Obrázek 13: Vzorek S4 - boční průsak**

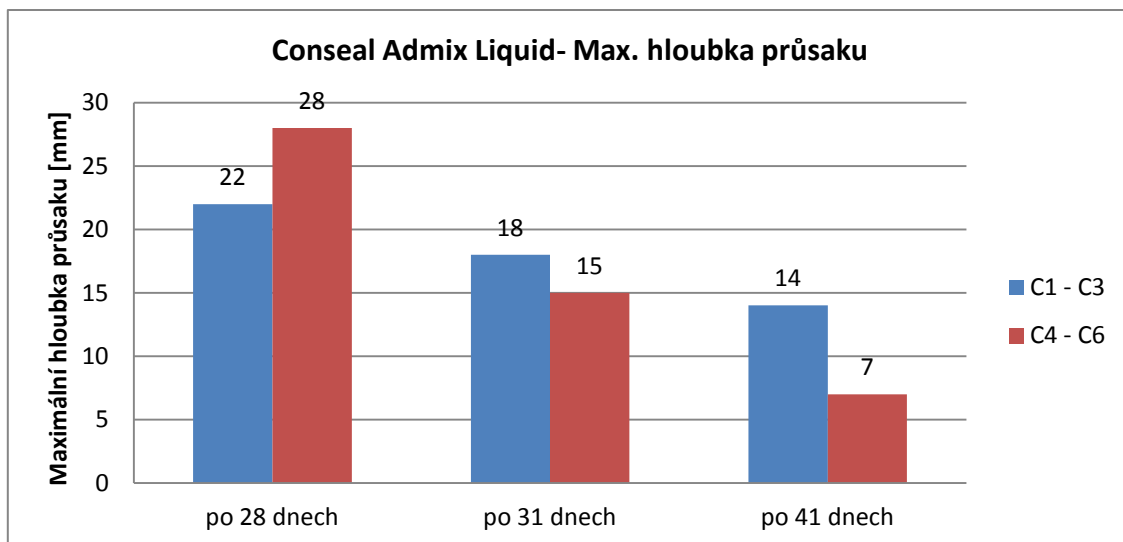


**Graf 5: Průsak vzorku S4**

Graf 5 zobrazuje průběh průsaku vzorku S4. Celková ztráta vody v průběhu zkoušky byla 425 ml.

U vzorku S5 nebylo provedeno měření maximální hloubky průsaku. Zkouška probíhala skrz víkendové dny, kdy došlo k vyprázdnění celého válce. Kostka, byla vadně nasazena na místo, nebo během jednoho dne došlo k celkovému průsaku vody vzorkem.

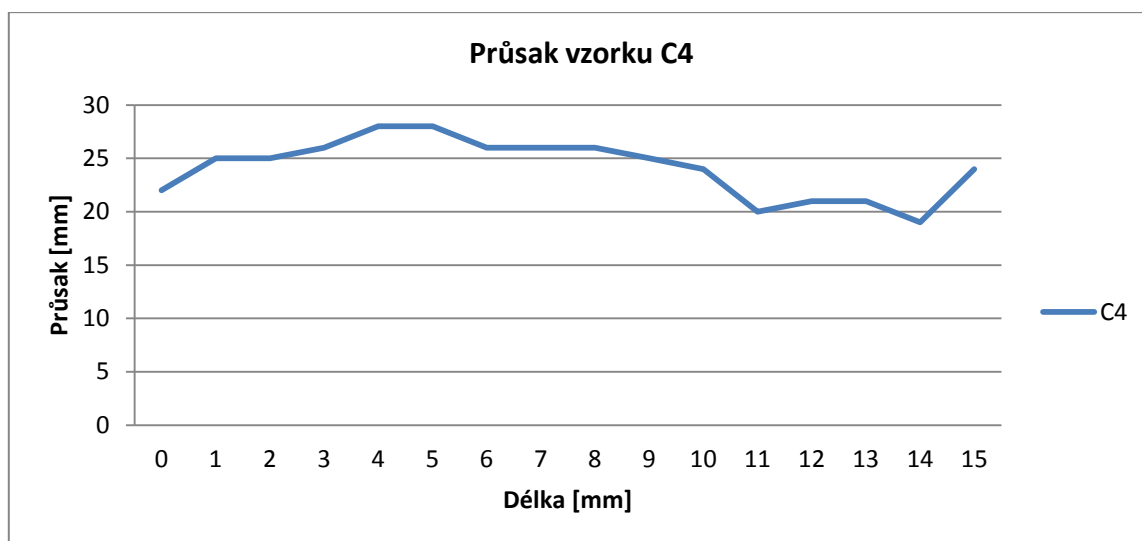
U vzorků sady S4 – S6 byly pozorovány různé maximální průsaky a chování vzorků. Krystalizační příměs v betonu a vysušení vzorků po odformování mělo negativní vliv na pozdější vytvoření pevné struktury po uložení vzorků do vody. Vzorky sady S1 – S3 neměly prakticky žádný vliv na snížení maximální hloubky průsaku tlakovou vodou, oproti referenční záměsi R1 – R3.



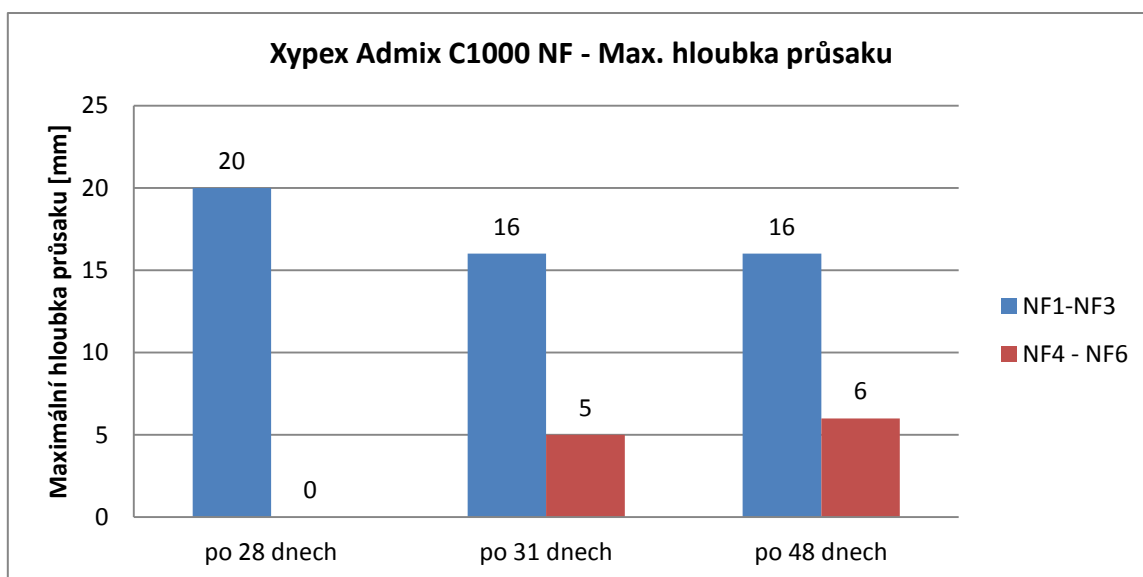
**Graf 6: Conseal Admix Liquid - Maximální hloubka průsaku tlakovou vodou**

Záměrné vysušení vzorků C4 – C6 prokázalo rozdíl v hloubce průsaku oproti sadě vzorků C1 – C3. Po jejich uložení po 14 dnech vysušování do vody, došlo k částečnému vyhojení vytvořených mikrotrhlin.

U vzorku C4 došlo k bočnímu průsaku, jehož průběh je znázorněn na Grafu 7. Celkový úbytek vody ve válci byl 60 ml.



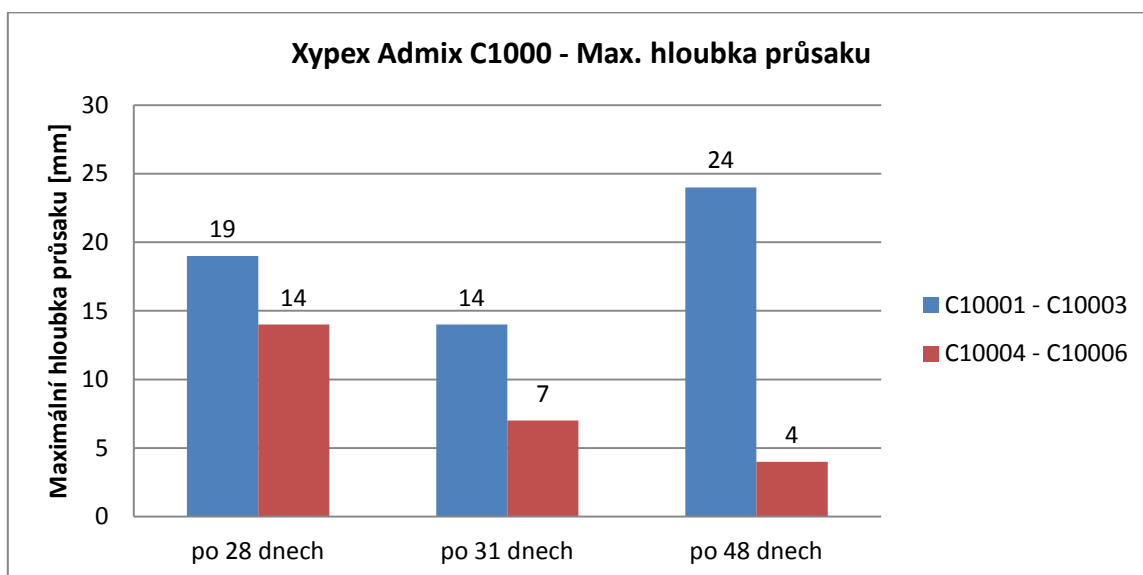
**Graf 7: Průsak vzorku C4**



**Graf 8: Xypex Admix C1000 NF - Maximální hloubka průsaku tlakovou vodou**

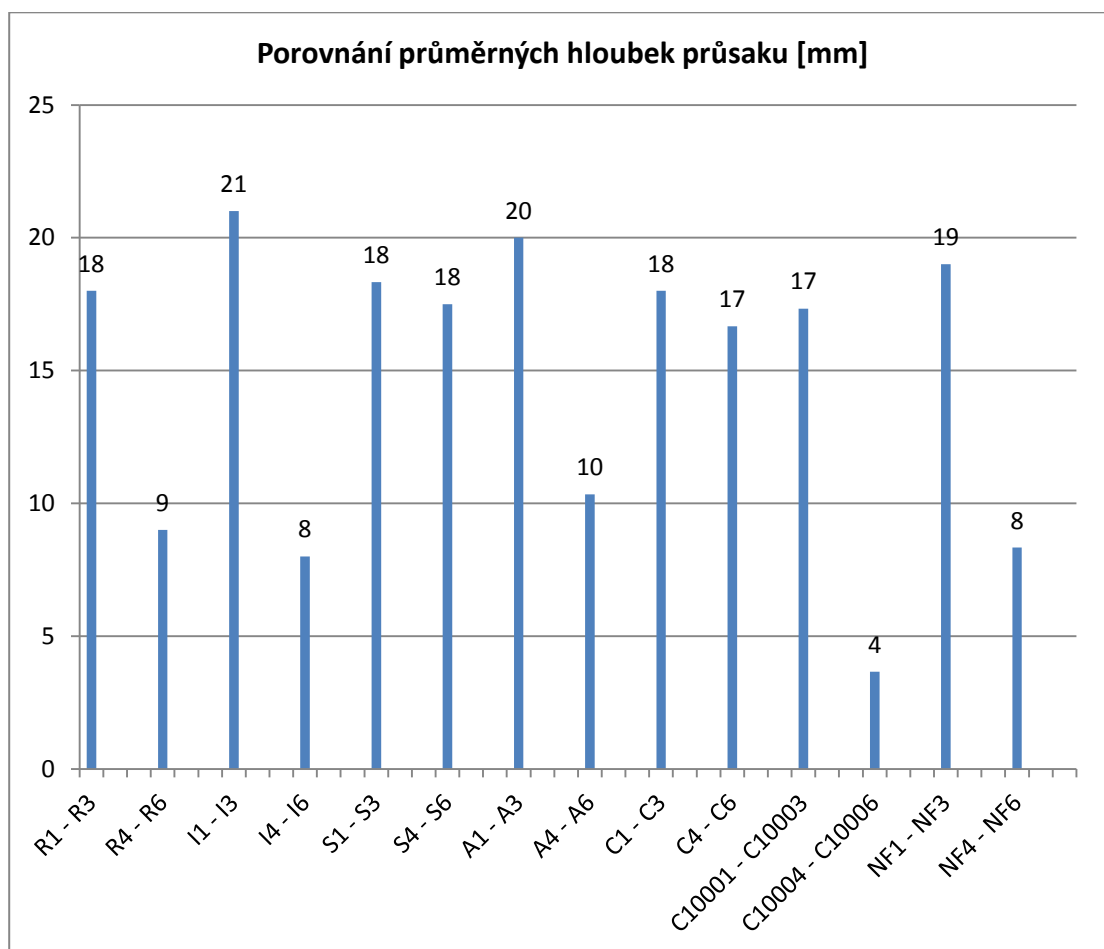
Záměrné vysušení vzorků NF4 – NF6 prokázalo rozdíl v hloubce průsaku oproti sadě vzorků NF1 – NF3. Po jejich uložení po 14 dnech vysušování do vody, došlo k částečnému vyhojení vytvořených mikrotrhlin. Vzorky, uložené po celou dobu ve vodě, neprokázaly významné snížení hloubky průsaku v průběhu dní.

Vzorek NF4 byl po rozlomení neměřitelný, ovšem celkový úbytek vody ve válci byl 175 mm.



**Graf 9: Xypex Admix C1000 - Maximální hloubka průsaku tlakovou vodou**

U vzorků uložených po celou dobu v kádi s vodou, nedošlo v průběhu dní k významnému snížení maximálního průsaku. Rozdíl je patrný u vzorků C10004 – C10006, jež byly záměrně vysušovány.



**Graf 10: Průměrná hloubka průsaku**

Vzhledem k výsledkům mezi jednotlivými vzorky bylo pro vyhodnocení zvoleno porovnání průměrných hloubek průsaku. Časové rozmezí zkoušek 28 – 48 dní neposkytlo tak významné rozdíly, aby k průměru nemohlo být přikročeno. Vzorky s krystalizační příměsí, které byly ošetřovány po celou dobu ve vodě, neprokázaly významné snížení hloubky průsaku oproti referenčním vzorkům (případně došlo k jejich zvýšení). Totéž platí u vzorků, jež byly záměrně vysušovány. Ukázalo se, že zde dochází k vyhojování, ovšem to nebylo dostatečné výrazné, abychom mohli určit, že se jedná o sekundární krystalizaci. Výjimku tvoří sada vzorků C1004 – C1006, kde je průměrná hloubka průsaku 4 mm.

Dále u vzorků s příměsí Sika WT – 200 P a Conseal Admix Liquid docházelo k výrazným bočním průsakům a. Zvolená metoda vysušování pro tyto příměsi pravděpodobně není vhodná.

Musíme vzít v úvahu, že vyhodnocování hloubky průsaku vyžaduje jisté zkušenosti, v opačném případě může dojít k významným rozdílům v řádu několika milimetrů.. Mezi jednotlivými vzorky s krystalizací nebylo možné určit, zda za snížením hloubky průsaku stálo vyhojování na základě cementu, krystalizační příměsi (na bázi portlandského cementu) či jejich kombinace. Nálezem novotvarů, způsobených krystalizačními příměsemi se zabývá experiment v Kap. 8.6 .

Beton považujeme za vodotěsný, pokud je průměrná hloubka průsaku menší než 20 mm a maximální hloubka průsaku nepřesahuje hodnotu 50 mm. Tuto podmínku splňuje každý vyrobený beton - betony jsou vodotěsné. [26]

Graficky znázorněné průsaky jednotlivých vzorků jsou uvedeny v Příloze 15 – 28.

Vzhledem k dosaženým výsledkům hloubky průsaku je posouzena taktéž ekonomická výhodnost použití krystalizačních příměsí. Ceny krystalizačních příměsí, platných k listopadu 2016 jsou v Tab. 26.

**Tab. 26: Ceny krystalizačních příměsí (listopad 2016)**

<b>Druh příměsí</b>	<b>Dodavatel</b>	<b>Dávkování [%]</b>	<b>Cena za 1kg (bez DPH)</b>	<b>Cena na 1 m<sup>3</sup> betonu (bez DPH)</b>	<b>Při odběru</b>
Idrocrete KR 1000	Mapei	1 - 3	180,00	1080,00	---
Akvatron 12	Moramis	0,4 – 1	190,39	400,00	21 kg
Krystol Mix	Redrock	1,5 – 2	107,00	561,75	jednorázový odběr
Sika WT – 200P	Sika	1 – 2	119,34	537,03	18 kg
Conseal Admix Liquid	Chryso	1,0	85,00	255,00	1000 l
Xypex Admix C1000	Nekap	1 – 3	180,00	1080,00	velkoodběratelé
Xypex Admix C1000 NF	Nekap	0,5 – 1,5	330,00	990,00	velkoodběratelé

Dodavatelé jednotlivých příměsí nabízejí krystalizace za výše uvedené ceny. Tyto ceny nejsou pevné. Při pravidelných odběrech mohou být ceny řádově i o několik procent nižší. V Tab. 26 jsou uvedeny ceny za odběr, které byly dodavateli poskytnuty.

Z Tab. 26 je parné, že krystalizační příměsí jsou velmi drahé, spolu s uvážením jejich skutečného vlivu na vlastnosti betonu. Vzhledem k hloubkám průsaku, dopadly nejlépe betony s příměsí Idrocrete KR 1000 (nejsou uvedeny pro český trh), Akvatron 12 Xypex Admix C1000 (NF). Při zvoleném dávkování v této práci (střední hodnota doporučeného dávkování výrobcem) by cena za  $2,1 \text{ kg/m}^3$  příměsí Akvatron 12 byla 400 Kč. V případě příměsí Idrocrete KR 1000 a Xypex Admix C1000 NF je cena ještě mnohokrát vyšší. Cena za beton C25/30 XC4 se pohybuje řádově okolo 2100 Kč. To znamená, že cena příměsí by tvořila zhruba pětinu (a víc) ceny.

Cena cementu se pohybuje kolem 3,2 Kč/kg. Pokud by byla použita vyšší dávka cementu, bylo by možno dosáhnout výrazného zlepšení vlastností, za zlomek ceny i v porovnání s nejlevnějšími příměsemi. Další možností je použití mikrosiliky, popílků či strusky.

Doporučení použití krystalizací vzhledem k poměru cena/výkon není jednoduché. Nejlepších vlastností vzhledem k průsaku (při zvolené metodice experimentu) totiž dosáhl referenční beton bez příměsí. Při porovnání hloubek průsaku u vzorků s příměsemi, jež byly cíleně vysušovány se vzorky, jež byly po celou dobu v kádi s vodou, zjistíme, že v průběhu dní nedošlo u žádného betonu s krystalizační příměsí k významnému poklesu hloubky průsaku oproti referenční záměsí.

#### 8.4. Kapilární absorpce

Ve zkušebních směsích byla dávka jednotlivých krystalizačních přísad zvolena jako střední hodnota doporučených hodnot uváděných výrobcem v technickém listu. Jednotlivé dávky přísad pro zkoušku kapilární absorpce jsou v Tab. 27.

**Tab. 27: Množství krystalizační přísady v maltě pro zjištění kapilární absorpce**

Ozn.	Druh krystalizační přísady	Množství přísady [g]
R	Bez přísady – referenční záměs	0,00
I	Idrocrete KR 1000	18,00
A	Akvatron 12	6,30
S	Sika WT – 200 P	13,50
C	Conseal Admix Liquid	9,00
NF	Xypex Admix C1000 NF	9,00
C1000	Xypex Admix C1000	18,00
K	Krystol Mix	15,75

Množství krystalizačních přísad je uvedeno pro míchání dvou záměsů - množství cementu 900 g. V případě tekuté přísady Conseal Admix Liquid firmy Chryso bylo zohledněno množství vody obsažené v přísadě. Záměs s označením C měla upravené množství vody na 443,7 g při dávce cementu 900 g.

Zkušební trátěčky (40 x 40 x 160 mm) byly míchány ve dvou mícháních vzhledem k počtu forem. Po jednom dni byly trátěčky odformovány a uloženy ve vlhkostní komoře po dobu 7 dní. Po uplynulé době 7 dní, byly trátěčky jednotlivě zváženy a uloženy v kádí s vodou a volným přístupem vody ke spodní straně trátěček.

Trátěčky byly po 1, 7 a 14 dnech vytaženy z kádí, povrchově osušeny a zváženy. Po zvážení byly bez prodlevy vráceny zpět do kádí s vodou. Pro každou krystalizační přísadu bylo vytvořeno 6 trátěček. Zde se experimentální část práce odklání od normy. Norma uvádí, že zkušební trátěčky, jež jsou vyrobeny v celkovém počtu 6 kusů (pro jednu zkušební přísadu), jsou zkoušeny následujícím způsobem: trátěčky jsou ošetřovány ve vlhkostní



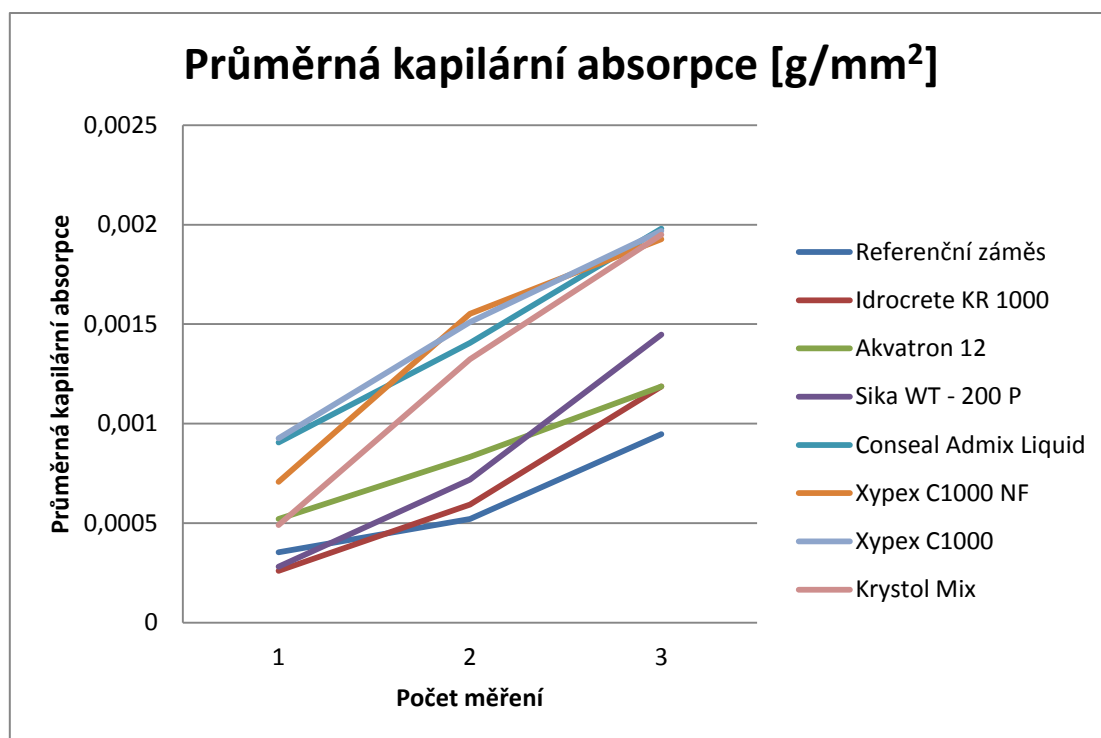
komoře po dobu 7 a 90 dní. Po uplynutí 7 dní ve vlhkostní komoře, jsou 3 trámečky zváženy a umístěny do předepsané kádi s vodou. Po 1 a 7 dnech v předepsané kádi jsou vytaženy, povrchově osušeny a zváženy. Zbylé 3 trámečky jsou ošetřovány ve vlhkostní komoře 90 dní a až poté jsou umístěny v předepsané kádi s vodou a jsou zkoušena po 1, 7 a 28 denním kontaktu s vodou. [24]

Vzhledem k tomu, že někteří výrobci doporučují naplnění zásobníků na vodu či nádrží v co nejkratší době (případně povrch udržovat stále vlhký), aby proběhly všechny krystalizační procesy, bylo zvoleno, že již po 7 dnech uložení trámeček ve vlhkostní komoře, budou trámečky umístěny do předepsaných nádob s vodou.

V následující Tab. 28 jsou uvedeny průměrné hodnoty kapilární absorpce jednotlivých záměsí v daných dnech měření. Graf 11 níže, pak uvádí množství absorbované vody mezi jednotlivými druhy krystalizací.

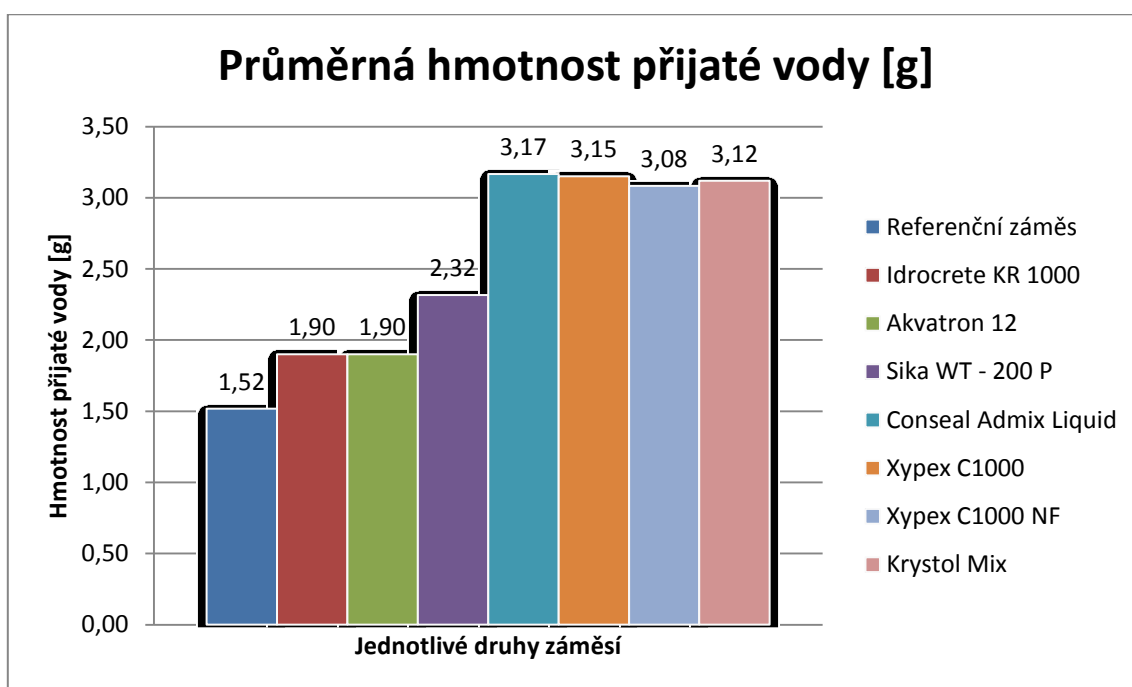
**Tab. 28: Kapilární absorpce**

Druh příměsi	Označení trámeček	Průměrná kapilární absorpce $C_{A1}$ [g/mm <sup>2</sup> ]	Průměrná kapilární absorpce $C_{A7}$ [g/mm <sup>2</sup> ]	Průměrná kapilární absorpce $C_{A14}$ [g/mm <sup>2</sup> ]
Referenční záměs	R	0,000354167	0,000520833	0,00094792
Idrocrete KR 1000	I	0,000260417	0,000593750	0,00118750
Akvatron 12	A	0,000520833	0,000833333	0,00118750
Sika WT - 200 P	S	0,000281250	0,000718750	0,00144792
Conseal Admix Liquid	C	0,000906250	0,001406250	0,00197917
Xypex NF	NF	0,000708333	0,001552083	0,00192708
Xypex C1000	C1000	0,000927083	0,001510417	0,00196875
Krystol Mix	K	0,000490625	0,001323958	0,00194896



**Graf 11: Průměrná kapilární absorpce**

Jak lze vidět z vypočtených dat a grafu, po ukončení zkoušky kapilární absorpce, největší příjem vody v g/mm<sup>2</sup> byl zjištěn u záměsi s příměsí Conseal Admix Liquid a nejnižší hodnoty příjmu vody, pak nastaly u referenční záměsi, které byly bez krystalizační příměsi. Sloupcový Graf 12 zobrazuje průměrnou celkovou hmotnost přijaté vody v [g].



**Graf 12: Průměrná hmotnost přijaté vody**

Při srovnání výsledků kapilární absorpce se zkouškou maximální hloubky průsaku tlakovou vodou se potvrdilo, že nejlepších výsledků (nejnižší kapilární absorpce) dosáhly trámečky referenční (bez příměsí) a dále trámečky s příměsí Idrocrete KR 1000 a Akvatron 12. Trámečky s příměsí Xypex Admix C1000 (NF) se svými hodnotami kapilární absorpce význačně odlišují od zkoušky vodotěsnosti. Jejich kapilární absorpce je výrazně vyšší.

## 8.5. Zkouška konzistence čerstvé malty za použití střešního stolku

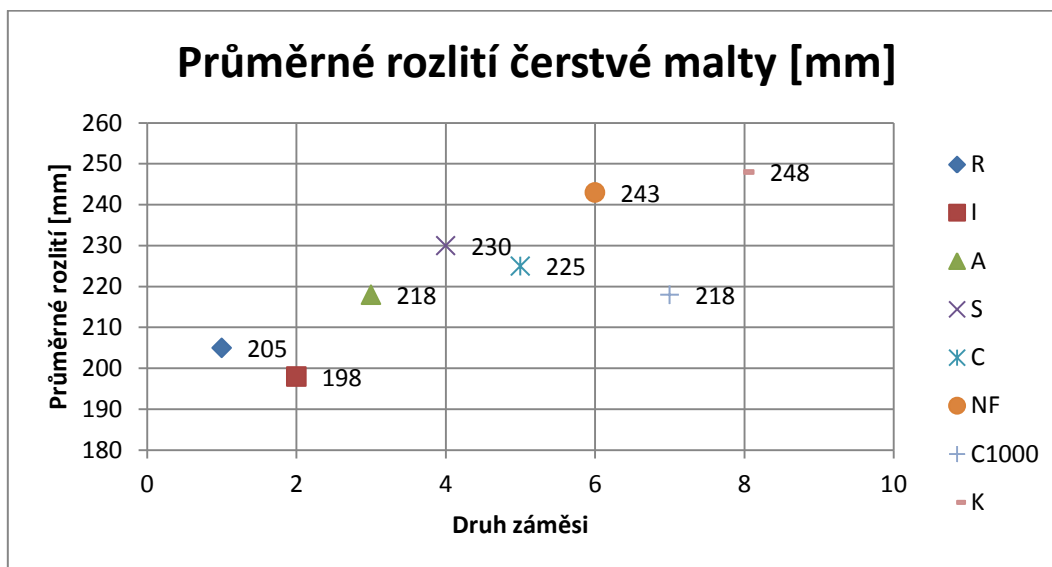
Trámečky pro zkoušku kapilární nasákavosti byly míchány dle metody použití stejného vodního součinitele. I přesto bylo provedeno zjištění konzistence čerstvé malty. Norma ČSN EN 480-1 [22] uvádí, že pokud je pro výrobu trámeček použito stejné konzistence, musí být z měření vyloučeny ty vzorky, které se od referenční záměsi, liší svým rozlitím o více než 5 % a musíme vytvořit novou záměs s upravenou dávkou vody. Tento fakt byl použit při vyhodnocování. Pokud bychom pracovali se stejnou konzistencí záměsí, muselo by být upraveno množství vody u vzorků s ozn. A, S, C, NF, C1000 a K. Rozlití jednotlivých záměsí je uvedeno v Tab. 29.

**Tab. 29: Konzistence čerstvé malty**

Označení záměsí	Rozlití ve dvou směrech	Průměr rozlití
[-]	[mm x mm]	[mm]
R	205 x 205	205
I	195 x 200	198
A	215 x 220	218
S	230 x 230	230
C	225 x 225	225
NF	240 x 245	243
C1000	215 x 220	218
K	245 x 250	248

S výjimkou záměsi I (kdy došlo ke snížení tekutosti), došlo u všech záměsí ke ztekucení. Vyšší průměrné rozlití čerstvé malty dosáhlo až 19 % u záměsi NF a 21 % u záměsi K. Tento trend se projevil i při měření konzistence čerstvého betonu v Kap. 8.1. Graf 13 přehledně porovnává vliv krystalizačních příměsí na konzistenci čerstvé malty.

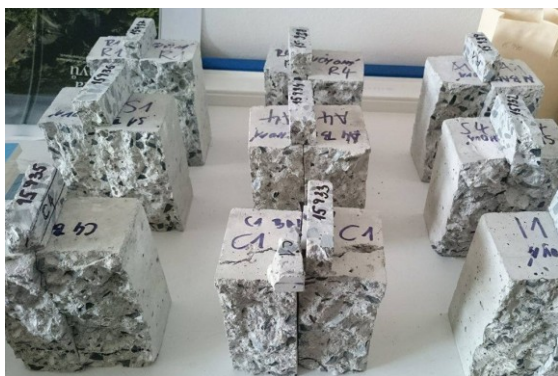
Bylo by zajímavé taktéž vyzkoušet komptabilitu krystalizačních příměsí s různými druhy plastifikátorů a superplastifikátorů.



**Graf 13: Průměrné rozlití čerstvé malty [mm]**

## 8.6. Analytické práce vyšetření cementového kamene

Pro analýzu vytvořených novotvarů ve struktuře cementového kamene, byly použity vzorky betonu, rozlomené po zkoušce vodotěsnosti uvedené v Tab. 31. Analyzován byl ručně separovaný vzorek cementového kamene. Ten byl vybrán z tělesa 150 x 150 x 150 mm tak, že byla v centrální části vyříznuta deska o síle ~ 20 mm a z této desky dále vyříznut ze střední části segment o šířce ~ 20 mm. Z čelní strany po odstranění povrchové vrstvy byl odebrán vzorek betonu, který byl šetrně podrcen, a byly ručně odebrány zrna cementového kamene.



**Obrázek 14: Odebrané segmenty o šířce 20 mm**



**Obrázek 15: Odebrání vzorku cementového kamene**



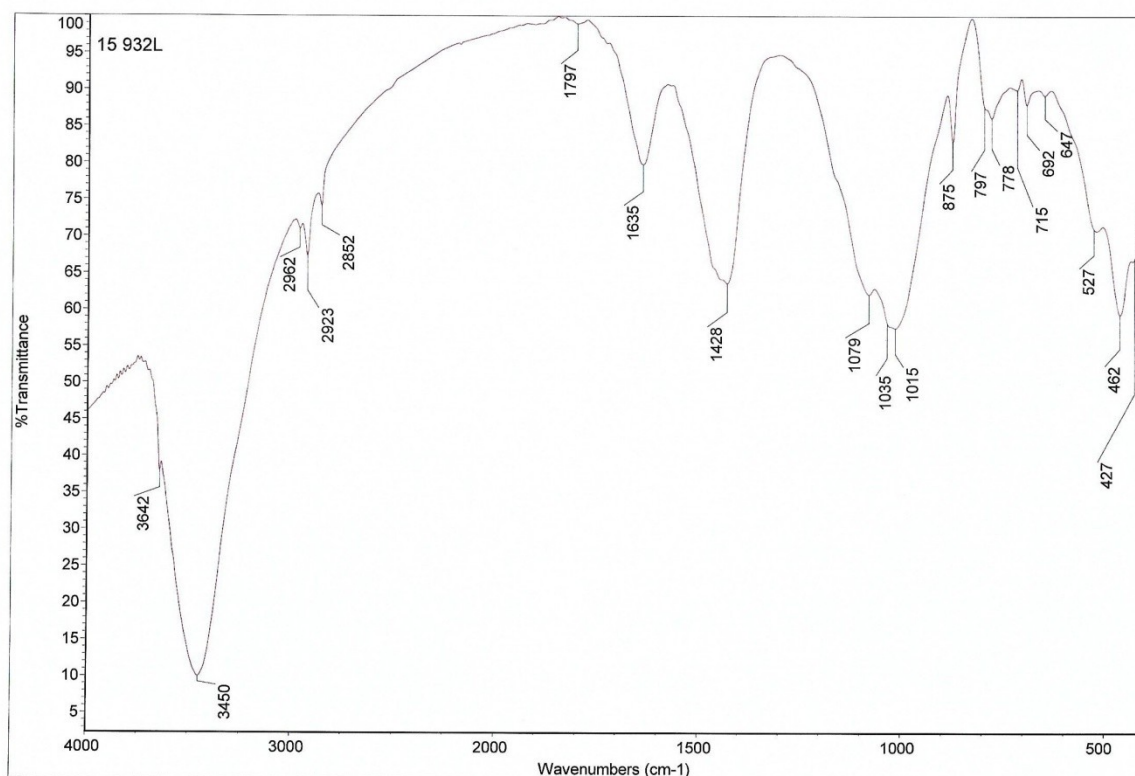
**Obrázek 16: Ručně odebrané zrna cementového kamene**



**Obrázek 17: Tření na zrnitost pod 5 µm v achátové misce**

Cementový kámen byl v třecí misce šetrně podrcen tak, aby bylo odstraněno drobné kamenivo. Další separací byl získán jen jemný podíl cementového kamene, který obsahoval převážně cementové pojivo a zbytek drobného kameniva (křemene).

Pro infračervenou spektroskopickou analýzu byl získaný produkt dále jemně rozetřen v achátové misce na zrnitost pod 5 µm. Pro analýzu byl použit přístroj NICOLET 6700. Byla použita navážka 2 mg, technika měření tabletovací v KBr. Měřicí rozsah 400 – 4000 cm<sup>-1</sup>. Výsledná spektra s Fourierovou transformací jsou uvedena na Obr.18 a v Příloha 31 - Příloha 35.



**Obrázek 18: IČ spektrum, vzorek 15 932L – S4**

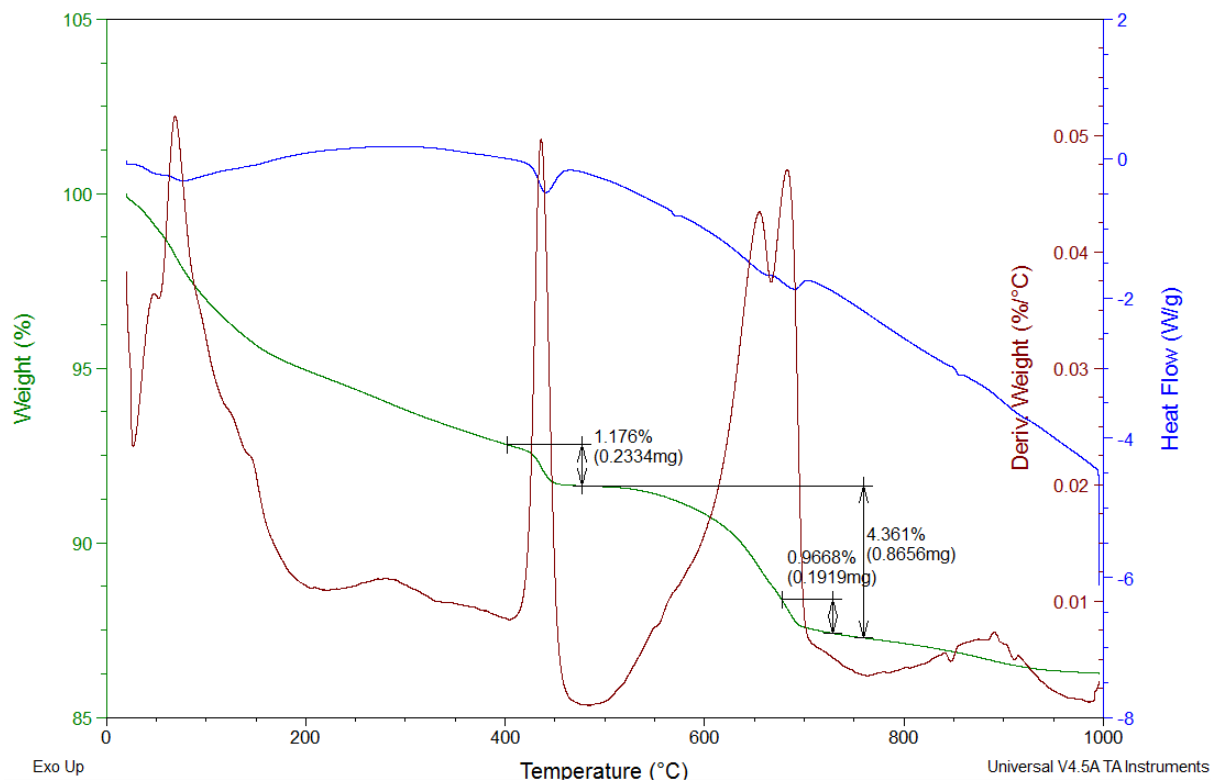
Interpretace spekter je provedena srovnáním s referenčními spektry Moenkova atlasu spekter, atlasu spekter minerálů, a z knihy Ramachandran et. al. Interpretace je uvedena v Tab. 31. [43, 44]

Pro analýzu DSC/TG byl použit přístroj SDT Q600 V20.9 Build 20. Analýza byla provedena rychlostí zahřívání 10 °C/min, hmotnost navážky ~ 20 mg, atmosféra vzduch a zahřívání v rozsahu 20 – 1000 °C. Jednotlivé záznamy jsou uvedeny na Obrázek 19 a v Příloha 36 - Příloha 39.

Sample: Bam\_15932L  
 Size: 19.8500 mg  
 Method: Ramp  
 Comment: Bambuchova 15932 10C/min, do1000C, air

# DSC-TGA

File: F:\Bam\_15932L.001  
 Operator: majstrikova  
 Run Date: 11-Nov-2016 06:48  
 Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20



**Obrázek 19: DSC/TG analýza, vzorek 15 932L - S4**

Báze složení jednotlivých krystalizačních příměsí je dle uvedení v bezpečnostních listech v Tab. 30. Bezpečnostní listy jsou uvedeny v Příloze B.

**Tab. 30: Báze krystalizačních příměsí**

Krystalizační příměs	Báze	Procentuální zastoupení [%]
Akvatron 12	portlandský cement	---
	upravené křemičité písky	---
	minerální přísady	---
	dusičnan vápenatý	---
Idrocrete KR 1000	portlandský cement	50 – 75
	uhličitan sodný	20 – 25
	kyselina fumarová	2,5 – 4,99
Krystol Mix	portlandský cement	30 – 40
	křemenný písek (alfa křemen)	40 – 50
	bezvodý hydroxid vápenatý	< 10
	bezvodý uhličitan vápenatohořečnatý	5 – 15
	uhličitan sodný	< 10
Sika WT-200P	cement	25 – 50
	dihydroxid vápenatý	10 – 20
	uhličitan sodný	3 – 5
	2,2'-(methylimino)di(ethan-1-ol)	1 – 2,5
	triisobutyl phosphate	0,1 – 1
Xypex C1000 (NF)	portlandský cement	35 – 60
	hydroxid vápenatý	5 – 20
Conseal Admix Liquid	kyselina křemičitá – sodná sůl	≤ 50



**Tab. 31: Vzorky použité pro analýzu cementového kamene**

Číslo vzorku	Ozn.	Krystalizační příměs	Max průsak [mm]
<b>15932 L</b>	<b>S4</b>	<b>Sika WT-200P</b>	<b>26</b>
Interpretace FTIR spektra	portlandit karbonát ( $1428\text{ cm}^{-1}$ ) křemen (z kameniva $1035\text{ cm}^{-1}$ a $462\text{ cm}^{-1}$ ) amorfni $\text{SiO}_2$ (??) <b>CSH gel</b> $\text{C}_3\text{A}$ (?) ( $427\text{ cm}^{-1}$ )		
Interpretace DSC/TG analýzy	CSH gely (DTG- $140^\circ\text{C}$ , $150^\circ\text{C}$ , sl.) portlandit (EN $440^\circ\text{C}$ delta m = 1,17 %, obsah = 0,23 mg) křemen slabá rekrystalizace? EN $573^\circ\text{C}$ CSH gel dehydroxilace (EN $660^\circ\text{C}$ , delta m = 4,36 %) kalcit jemnozrnný (EN $690^\circ\text{C}$ , delta m= 0,97 %, obsah = 0,2 mg)		
<b>15934L</b>	<b>A4</b>	<b>Akvatron 12</b>	<b>16</b>
Interpretace FTIR spektra	portlandit karbonát ( $1426\text{ cm}^{-1}$ ) křemen (z kameniva) CSH gel $\text{C}_3\text{A}$ (?)		
Interpretace DSC/TG analýzy	CSH gely (DTG- $120^\circ\text{C}$ , sl.) portlandit (EN $440^\circ\text{C}$ delta m = 1,37 %, obsah = 0,28 mg) křemen slabá rekrystalizace? EN $573^\circ\text{C}$ CSH gel dehydroxilace (EN $660^\circ\text{C}$ , delta m = 6,33 %) kalcit jemnozrnný (EN $690^\circ\text{C}$ , delta m= 1,32 %, obsah = 0,27 %)		
<b>15936L</b>	<b>S1</b>	<b>Sika WT- 200P</b>	<b>19</b>
Interpretace FTIR spektra	portlandit karbonát ( $1422\text{ cm}^{-1}$ ) křemen (z kameniva) + amorfni $\text{SiO}_2$ (?) CSH gel		

	C <sub>3</sub> A (?)		
Interpretace DSC/TG analýzy	CSH gely (DTG-120°C, sl.) portlandit (EN 440°C delta m=0,76%, obsah = 0,16 mg) křemen EN 573°C CSH gel dehydroxilace (EN 660°C, delta m= 3,47 %) kalcit jemnozrnný (EN 690°C, delta m = 0,64 %, obsah = 0,13 mg)		
<b>15937L</b>	<b>R1</b>	---	<b>17</b>
Interpretace FTIR spektra	portlandit karbonát (1422cm <sup>-1</sup> ) křemen (z kameniva) CSH gel C <sub>3</sub> A (?)		
Interpretace DSC/TG analýzy	CSH gely (DTG-120°C, sl.) portlandit (EN 440°C delta m = 1,22 %, obsah = 0,26 mg) CSH gel dehydroxilace (EN 660°C delta m = 1,72 %) kalcit jemnozrnný (EN 690°C, delta m = 1,00 %, obsah = 0,21 mg)		
<b>15938L</b>	<b>R4</b>	---	<b>17</b>
Interpretace FTIR spektra	portlandit karbonát (1422cm <sup>-1</sup> ) křemen (z kameniva) CSH gel C <sub>3</sub> A (?)		
Interpretace DSC/TG analýzy	CSH gely (DTG-120°C, sl.) portlandit (EN 440°C delta m = 1,36 %, obsah = 0,28 mg) křemen EN 573°C CSH gel dehydroxilace (EN 660°C delta m = 2,2 %) kalcit jemnozrnný (EN 690°C, delta m = 0,96 %, obsah = 0,19 mg)		
<b>15939</b>	<b>A1</b>	<b>Akvatron 12</b>	<b>24</b>
Interpretace FTIR spektra	portlandit karbonát (1422cm <sup>-1</sup> ) křemen (z kameniva) CSH gel C <sub>3</sub> A (?)		

Interpretace DSC/TG analýz je založena na pozici endotermních a exotermních reakcí, úbytcích hmotnosti na křivce TG nebo na extrémech na derivaci křivky TG a mechanismu dehydroxylace nebo dehydratace fází. U křemene na fázové transformaci alfa-beta křemene při 573 °C.

Jako problematická je identifikace endotermní dvouvrcholové prodlevy v intervalu 600 – 700 °C, kde patrně splývají: dehydroxylace CSH fází a disociace malého množství velmi jemných částic karbonátu (dle IRS kalcitu). Ověření reakcí musí být provedeno úpravou vzorku a opakováním analýzy.

Nepodařilo se odlišit generace novotvořených (pravděpodobně) Ca – křemičitanů v cementovém kameni. Jiné minerální fáze, které by měly vzniknout po aplikaci krystalizačních příměsí do betonu, se použitými analytickými procedurami nepodařilo prokázat. Důvodem je jejich velmi nízká koncentrace v cementovém kameni a pro tento účel použité analytické metody.

Pro odlišení ve FTIR spektrech celého vzorku s použitím příměsí Sika WT-200P s koncentrací 1,5 %, bylo použito odstranění některých minerálů (především karbonátu) ve slabé kyselině chlorovodíkové (dále jen HCl). Byly vybrány vzorky 15 932 (vzorek vysušovaný) a 15 936 (vzorek ošetřovaný pouze ve vodě) dle Tab. 31 vzorky s označením S4 a S1. Dle DSC/TG analýzy, ze záznamu derivace křivky TG, bylo možno interpretovat v konfrontaci s původním FTIR spektrem příměs opálovou (nekrystalický SiO<sub>2</sub>). Po vyloužení karbonátů se ovšem tento předpoklad nepotvrdil.

Rozpuštěním vzorku v HCl (20 °C) se ve zbytkovém spektru podařilo spolehlivě identifikovat křemen a CSH silikát podobný tobermoritu. HCl odstranila portlandit, kalcit a pravděpodobně i část jemných CSH gelů. Zvolenou metodiku analýzy by bylo vhodné upravit a vyhledat vhodné koncentrace HCl a dobu jejího působení. Výsledné infračervené spektra vzorků 15 932L po HCl a 15 936L po HCl jsou uvedeny v Příloha 40 a Příloha 41.

Použitými analýzami **se nepodařilo** odlišit jednotlivé generace CSH gelů vzniklých hydratací cementu a sekundárně vzniklých gelů vlivem použitých příměsí. Pokud bychom chtěli najít rozdíly, není možné použít celou soustavu receptury betonu. Muselo by se přistoupit k přípravě vzorků jen na bázi cementu a zvolit vysoké koncentrace použitých příměsí.

S ohledem na složení, stupeň dokonalosti krystalové struktury vzniklých hydratovaných Ca – silikátů a velikost vzniklých částic (nanočástice nebo částice v desetínách až setinách  $\mu\text{m}$ ) a s použitými koncentracemi příměsí (okolo 1 %), **nelze běžnými fyzikálně – chemickými metodami tyto látky v betonu spolehlivě identifikovat.**

## **8.7. Metody optické mikroskopie pro vyšetření cementového kamene**

Pro zobrazení struktury cementového kamene v betonu na jednotlivých vzorcích dle Tab. 31 (+ vzorek s označením I4), byly použity následující metody optické mikroskopie:

- Binokulární mikroskopie na čerstvé lomové ploše betonu
- Optická polarizační mikroskopie výbrusu
- Elektronová scanující mikroskopie na čerstvé lomové ploše betonu
- Konfokální mikroskopie čerstvé lomové plochy

Pro zvolené postupy mikroskopie byly připraveny ručně tyto preparáty:

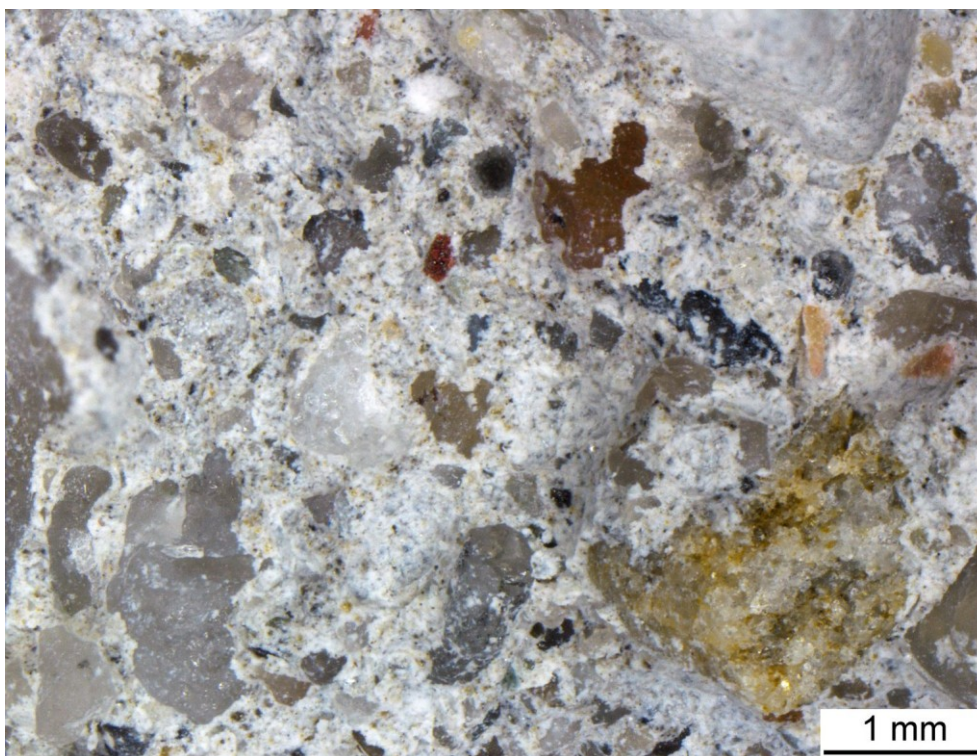
- Vzorek čerstvého lomu betonem (pro postupy binokulární, elektronové a konfokální mikroskopie)
- Výbrus betonem (pro postup optické polarizační mikroskopie)

Tyto mikroskopické postupy svým charakterem zachycují objekty v různém měřítku zvětšení a to v rozlišení cca na desetiny  $\mu\text{m}$  (pokud není uvedeno jinak).

Pro polarizační mikroskopii je limitující např. i tloušťka připraveného preparátu.

### 8.7.1. Binokulární mikroskopie

Fotografie čerstvé lomové plochy připraveného betonového vzorku, (odebraného ze střední části tělesa, blíže povrchu) byly pořízeny na binokulárním mikroskopu značky NICON SMZ 25. Fotografie zobrazují snímanou plochu v napadajícím bílém světle. Jednotlivé fotografie jsou dále uvedeny s komentářem na Obrázek 20 – Obrázek 26.



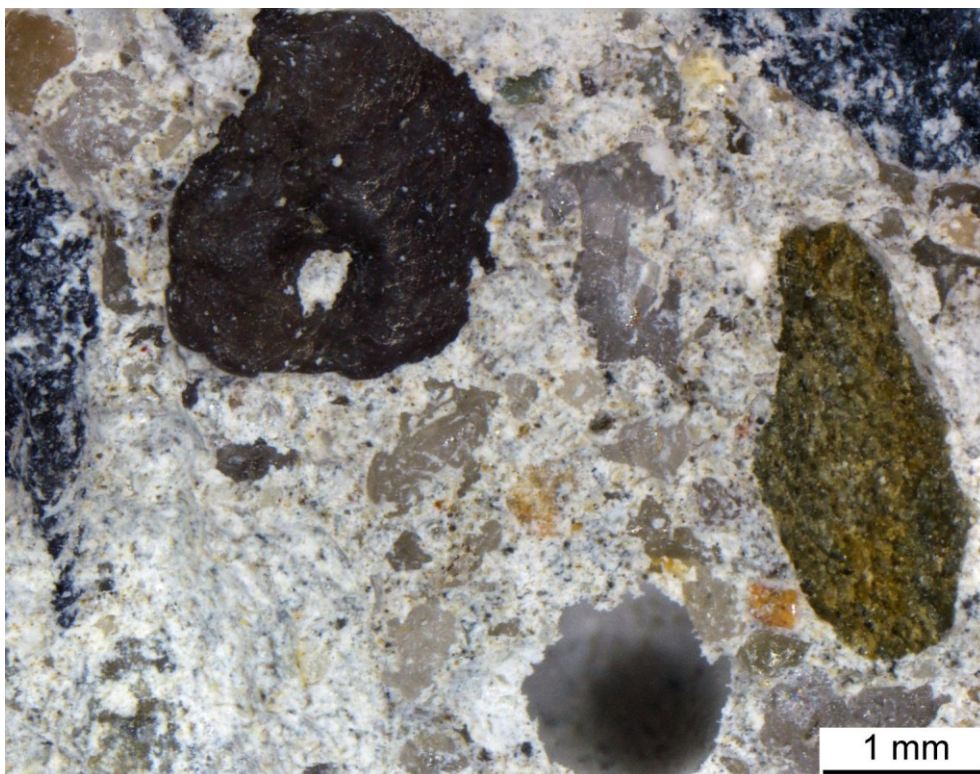
**Obrázek 20: Binokulární mikroskopie, vzorek 15 932L –S4**

#### POPIS

Ve světlé hmotě snímaného cementového kamene jsou rozptýlená zrna křemene, kvarcitů a úlomky cizích hornin, patrně strusky (?). Některá zrna křemene jeví uložení limonitu. Cementový kámen dobře obaluje zrna drobného kameniva.

Nejsou zde patrné žádné detaily částic nebo poškození struktury (např. trhlinami menšími jak cca desetina mm.)

Měřítka na snímku.



**Obrázek 21: Binokulární mikroskopie, vzorek 15 934L - A4**

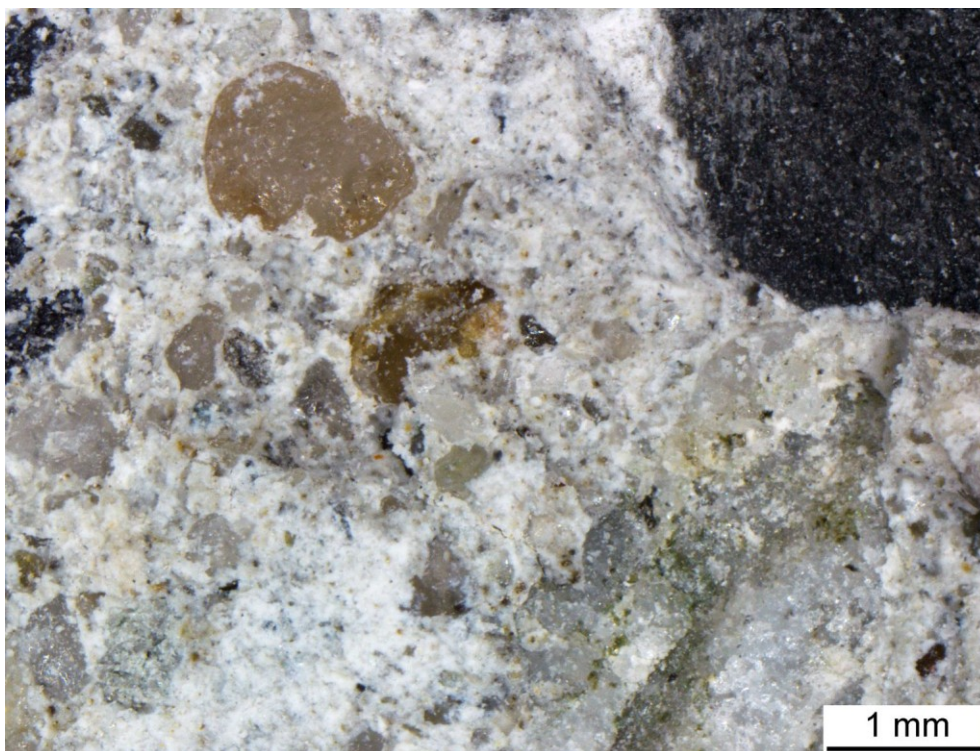
#### **POPIS**

Ve světlé hmotě snímaného cementového kamene jsou rozptýlená zrna křemene, kvarcitů a droby. Některá zrna křemene jeví uložení limonitu. V kulovém póru jsou na stěnách drobné výrůstky – pravděpodobně krystaly druhotně uloženého minerálu. Cementový kámen dobře obaluje zrna drobného kameniva.

Nejsou zde patrné žádné detaily částic nebo poškození struktury (např. trhlinami menšími jak cca desetina mm.)

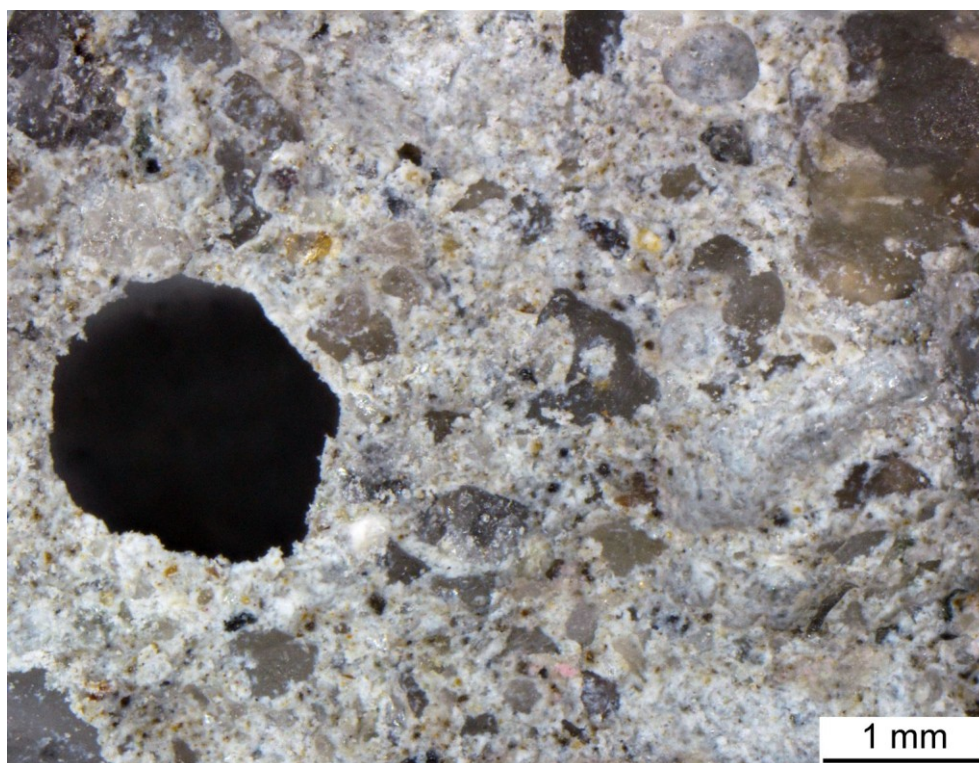
Měřítko na snímku.





**Obrázek 22: Binokulární mikroskopie, vzorek 15 936L – S1**

**POPIS** Ve světlé hmotě snímaného cementového kamene jsou rozptýlená zrna křemene a kvarcitů. Některá zrna křemene jsou žlutá, důsledkem uložení limonitu. Cementový kámen dobře obaluje zrna drobného kameniva. Nejsou zde patrné žádné detaily částic nebo poškození struktury (např. trhlinami menšími jak cca desetina mm.)  
Měřítka na snímku.



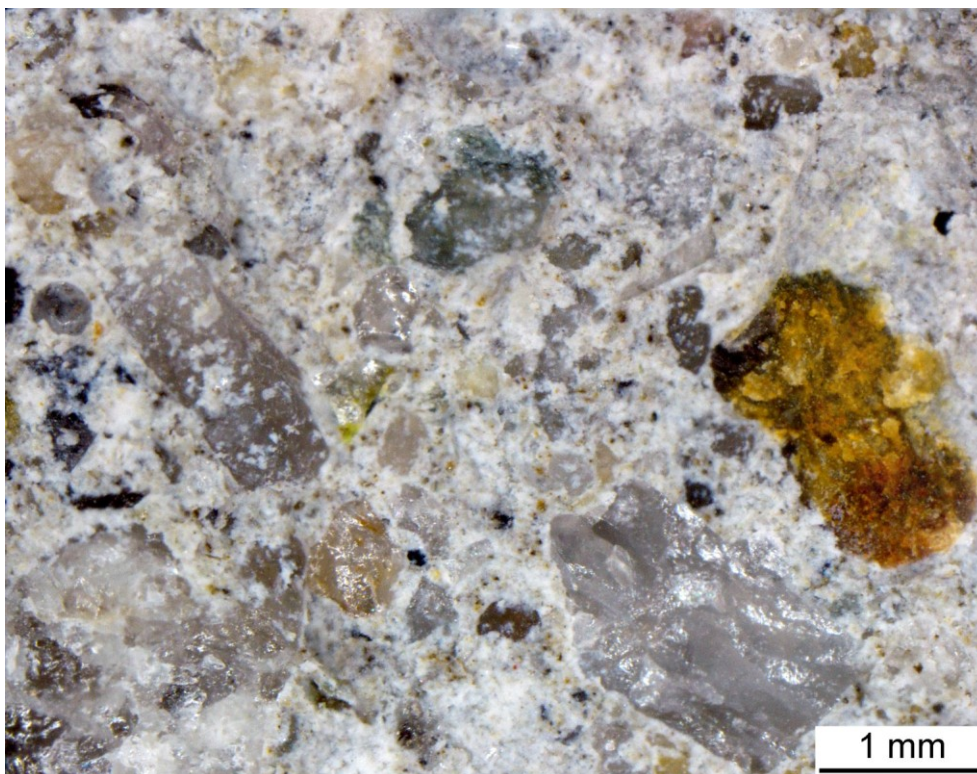
**Obrázek 23: Binokulární mikroskopie, vzorek 15 937L – R1**

**POPIS** Ve světlé hmotě snímaného cementového kamene jsou rozptýlená zrna křemene a kvarcitů. Cementový kámen dobře obaluje zrna drobného kameniva. Stěny kulového póru tvoří jen CSH gel.

Nejsou zde patrné žádné detaily částic nebo poškození struktury (např. trhlinami menšími jak cca desetina mm.)

Měřítko na snímku.



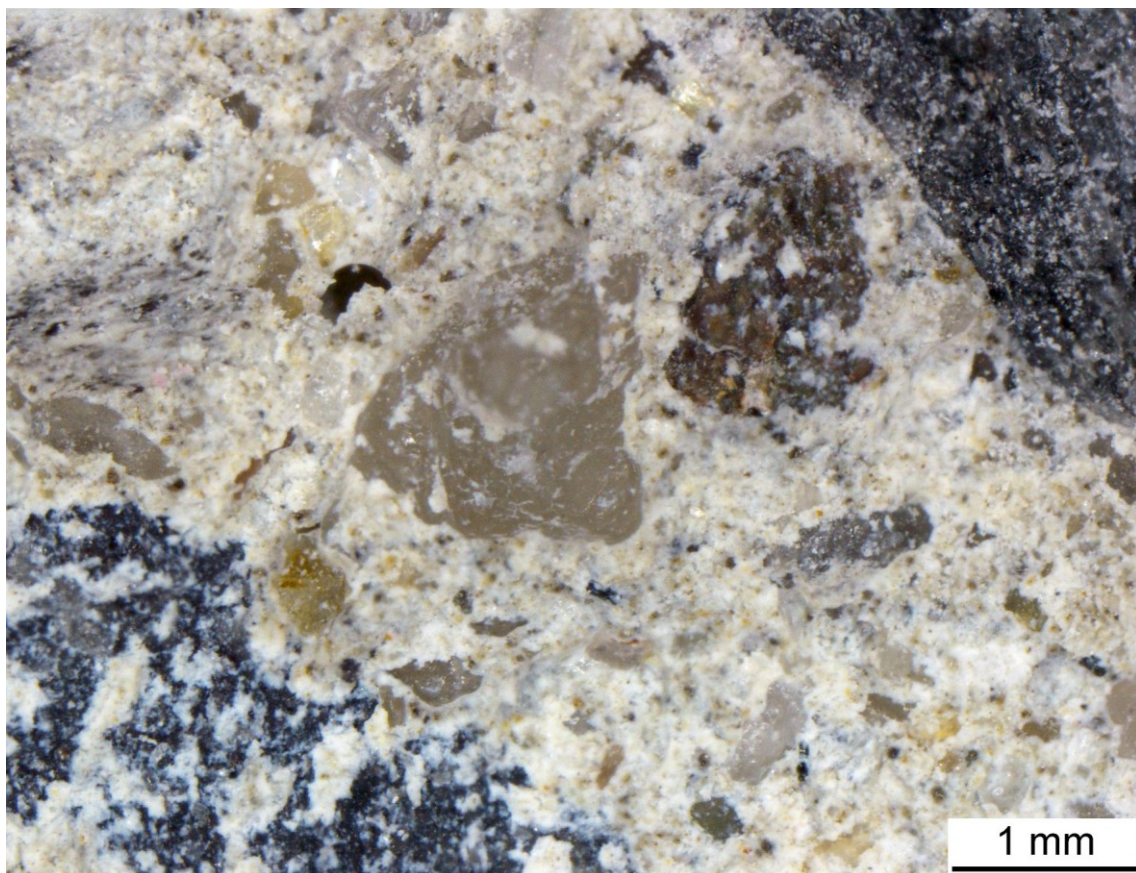


**Obrázek 24: Binokulární mikroskop, vzorek 15 938L – R4**

**POPIS** Ve světlé hmotě snímaného cementového kamene jsou rozptýlená zrna křemene, kvarcitů a limonitizovaných drob. Cementový kámen dobře obaluje zrna drobného kameniva.

Nejsou zde patrné žádné detaily částic nebo poškození struktury (např. trhlinami menšími jak cca desetina mm.)

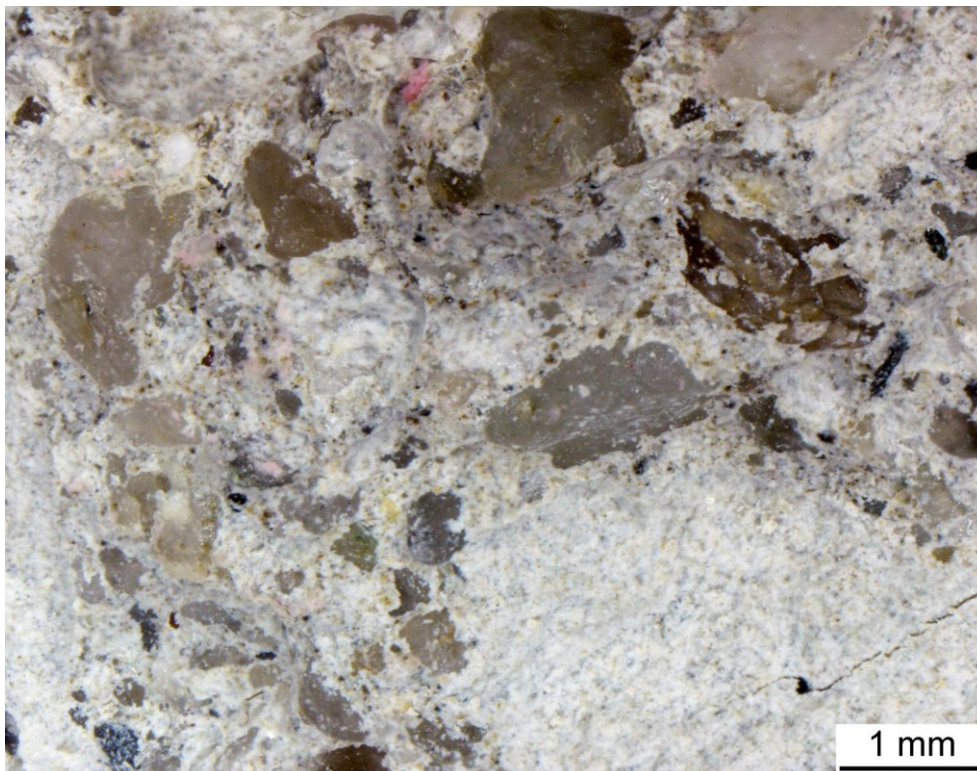
Měřítka na snímku.



**Obrázek 25: Bipolární mikroskopie, vzorek 15 939L - A1**

**POPIS** Ve světlé hmotě snímaného cementového kamene jsou rozptýlená zrna křemene, kvarcitů a tmavých drob. Cementový kámen dobře obaluje zrna drobného kameniva. Kolem zrn křemene jsou nevýrazné světlé lemy CSH gelů. Nejsou zde patrné žádné detaily částic nebo poškození struktury (např. trhlinami menšími jak cca desetina mm.)  
Měřítka na snímku.





**Obrázek 26: Bipolární mikroskopie, vzorek 15 940L - I4**

**POPIS** Ve světlé hmotě snímaného cementového kamene jsou rozptýlená zrna křemene, kvarcitů a tmavých drob. Nelze identifikovat členité útvary. Cementový kámen dobře obaluje zrna drobného kameniva.

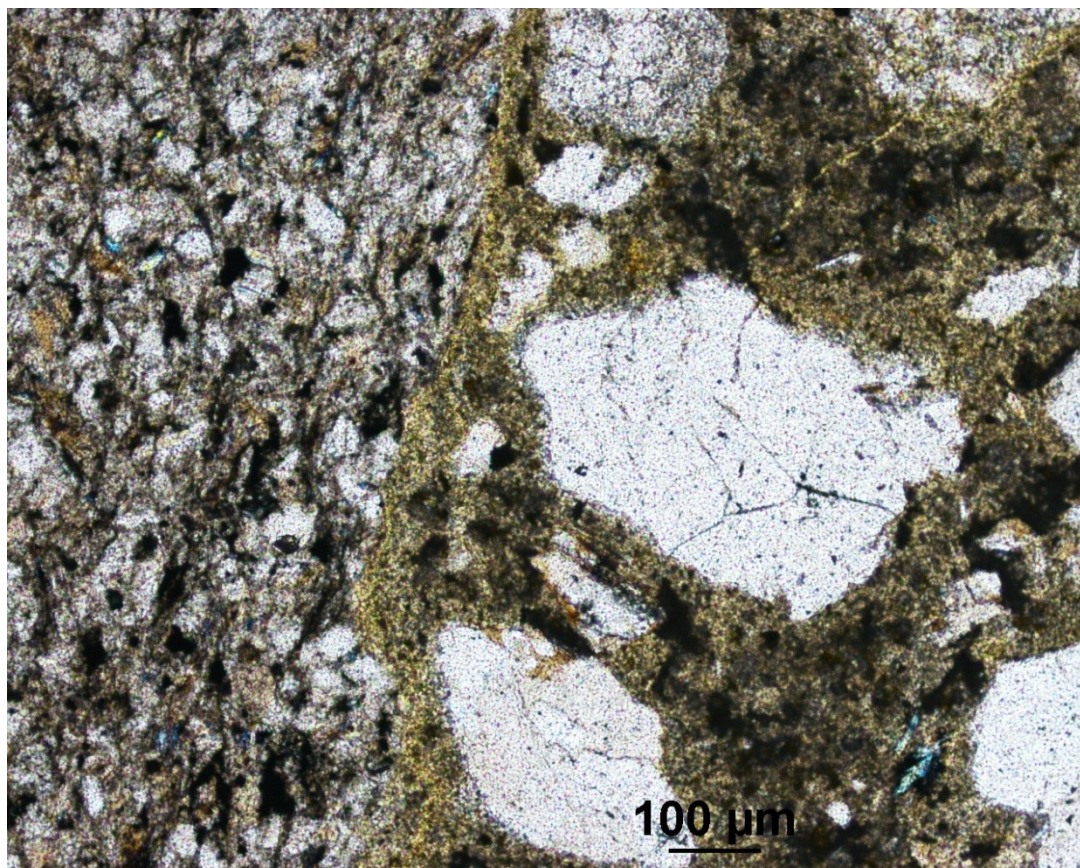
Nejsou zde patrné žádné detaily částic menších jak cca desetina mm. Trhlina patrná v pravém dolním rohu je vzniklá mechanickou přípravou preparátu.

Měřítka na snímku.

Bipolární mikroskopie neprokázala žádné viditelné trhliny a jejich zaplnění možnými novotvořenými gely. Při porovnání cementového kamene s krystalizační příměsí a cementového kamene preparátu bez přidané příměsí lze konstatovat, že v makroskopickém měřítku, na povrchu cementového kamene, nelze zvolenou mikroskopií prokázat účinnost příměsí.

### 8.7.2. Optická polarizační mikroskopie

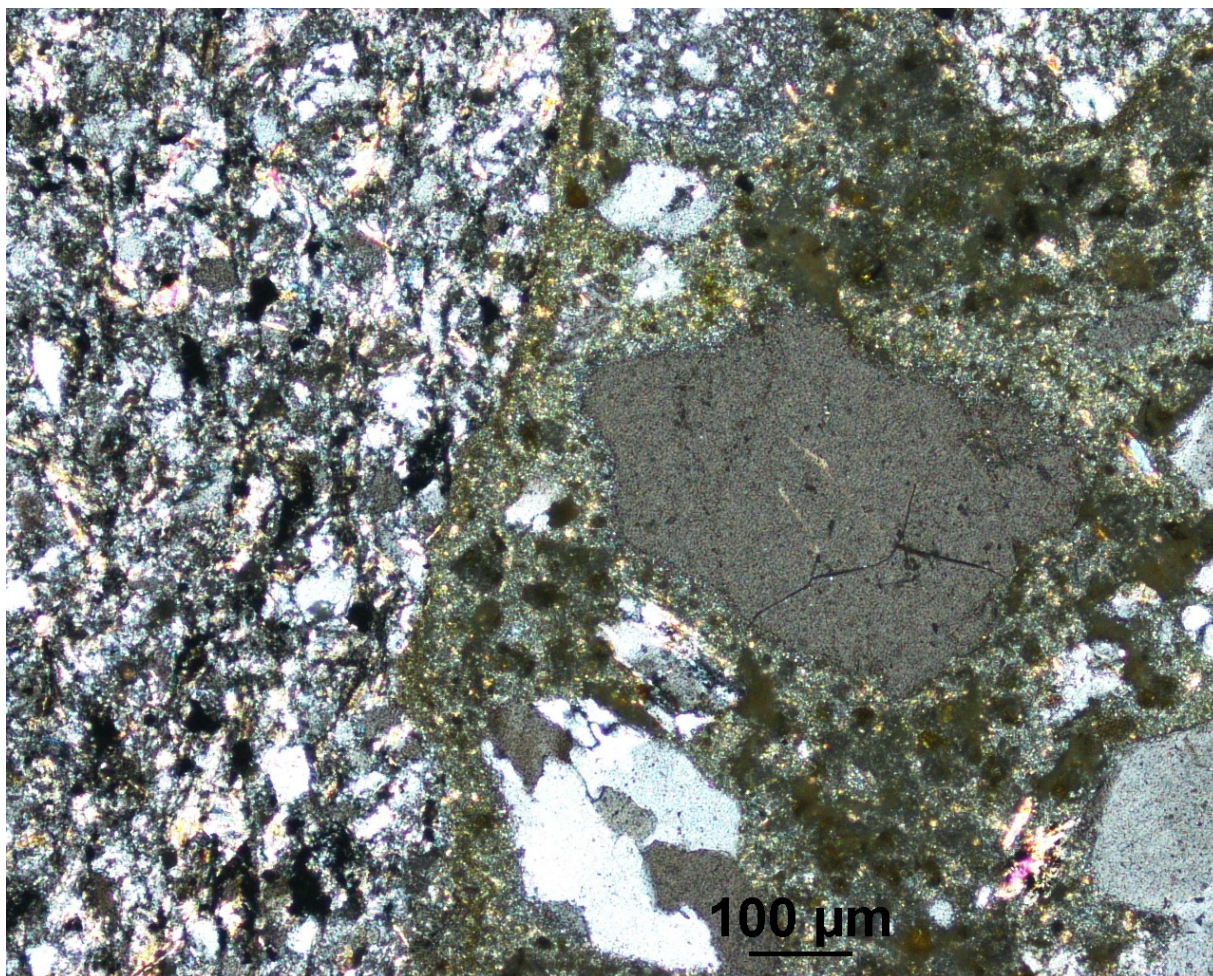
Výbrus betonu byl připraven ze střední části zkušebního tělesa, označeného jako I4 (viz. Tab. 20) poblíže povrchu. Byl zkoumán optickým polarizačním mikroskopem NICON LU-UEIP-N. Vzniklé fotografie jsou i s komentářem uvedeny na Obr. 27 – 32.



**Obrázek 27: Optická polarizační mikroskopie, vzorek 15 940L - 1 - I4**

**POPIS** V levé části fotografie je zrno droby a v pravé části jsou v cementovém kameni patrné písková zrna křemene. U zrna kameniva (droby) se jeví tenká zóna s vyšším podílem CSH gelu.  
Nejsou zde patrné žádné další detaily částic nebo poškození struktury (např. trhlinami menšími jak cca 10 μm).  
Měřítka na snímku.  
Šikmé nikoly.





**Obrázek 28: Optická polarizační mikroskopie, vzorek 15 940L - 2 – I4**

**POPIS** V levé části fotografie je zrno droby a v pravé části jsou v cementovém kameni patrné písková zrna křemene a kvarcitu. U zrna kameniva (droby) se jeví tenká zóna s vyšším podílem CSH gelu.

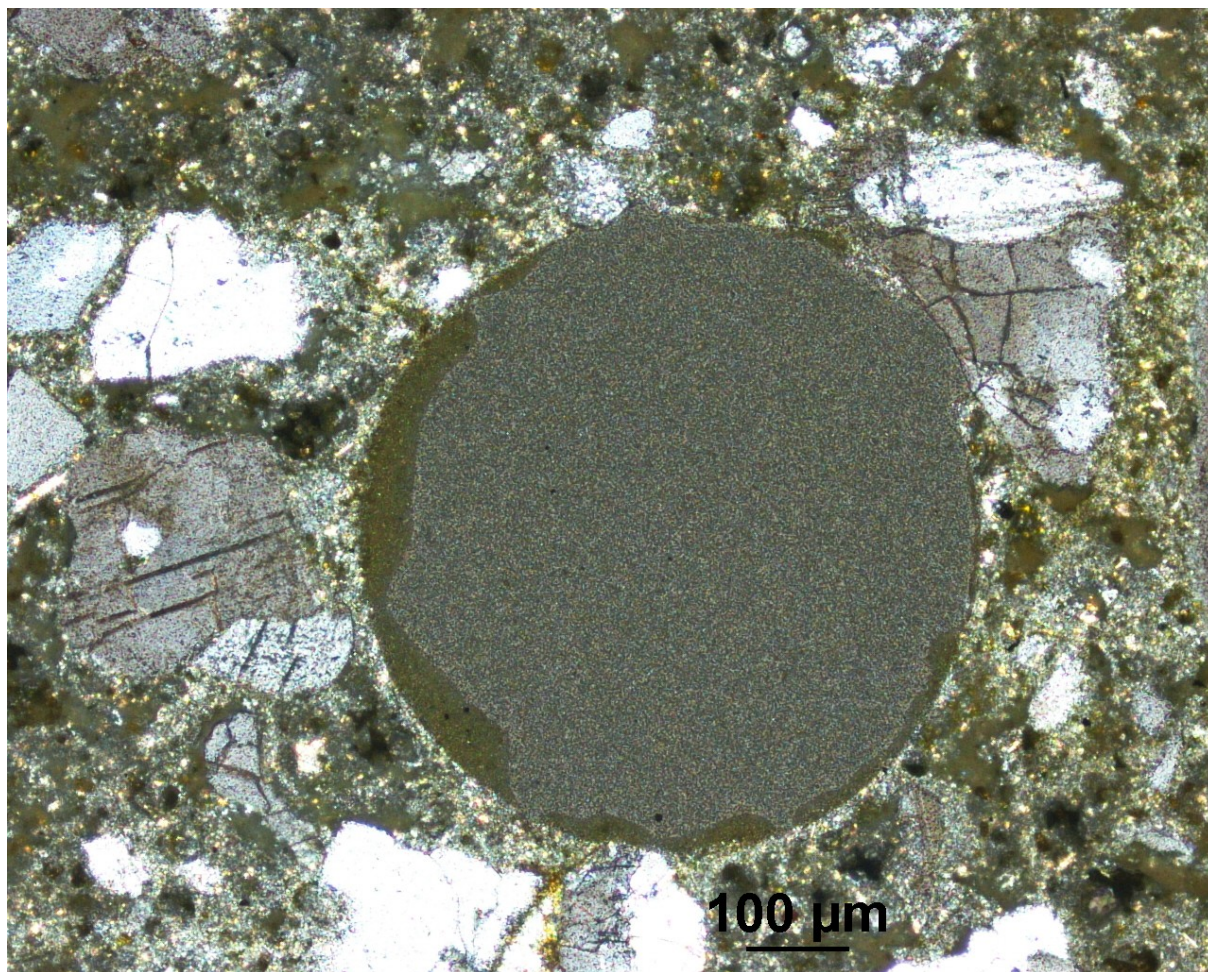
Nejsou zde patrné žádné další detaily částic nebo poškození struktury (např. trhlinami menšími jak cca 10 μm).

Měřítka na snímku.

Zkřížené nikoly.

Stejná část snímané plochy jako u Obr. 27.





**Obrázek 29: Optická polarizační mikroskopie, vzorek 15 940L - 3 – I4**

**POPIS**

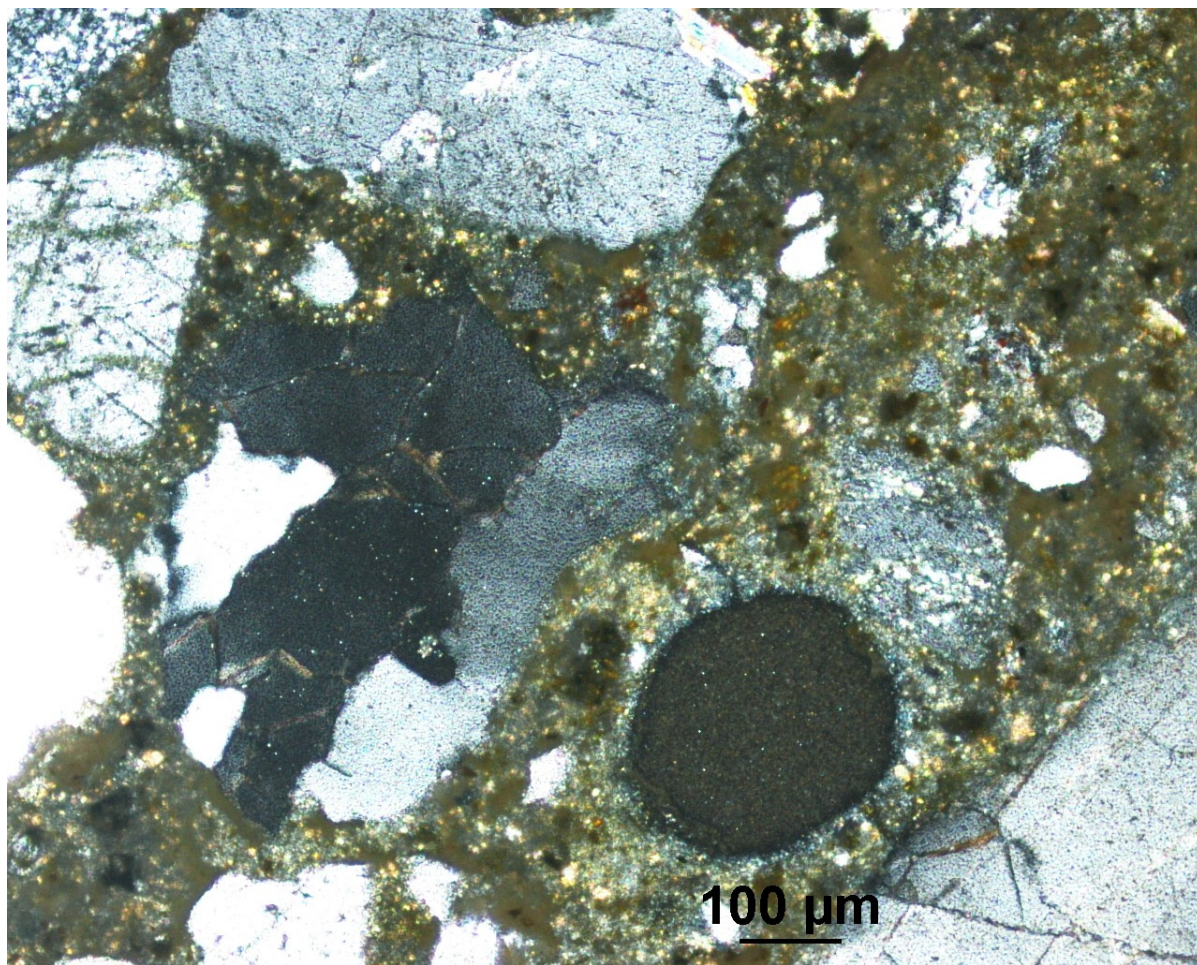
V centrální části fotografie je kulový pór, který má na vnitřní straně tenkou vrstvu CSH gelu. V okolním cementovém kameni jsou pak písková zrna křemene, živce a kvarcitu.

Nejsou zde patrné žádné další detaily částic nebo poškození struktury (např. trhlinami menšími jak cca 10 μm).

Měřítka na snímku.

Zkřížené nikoly.

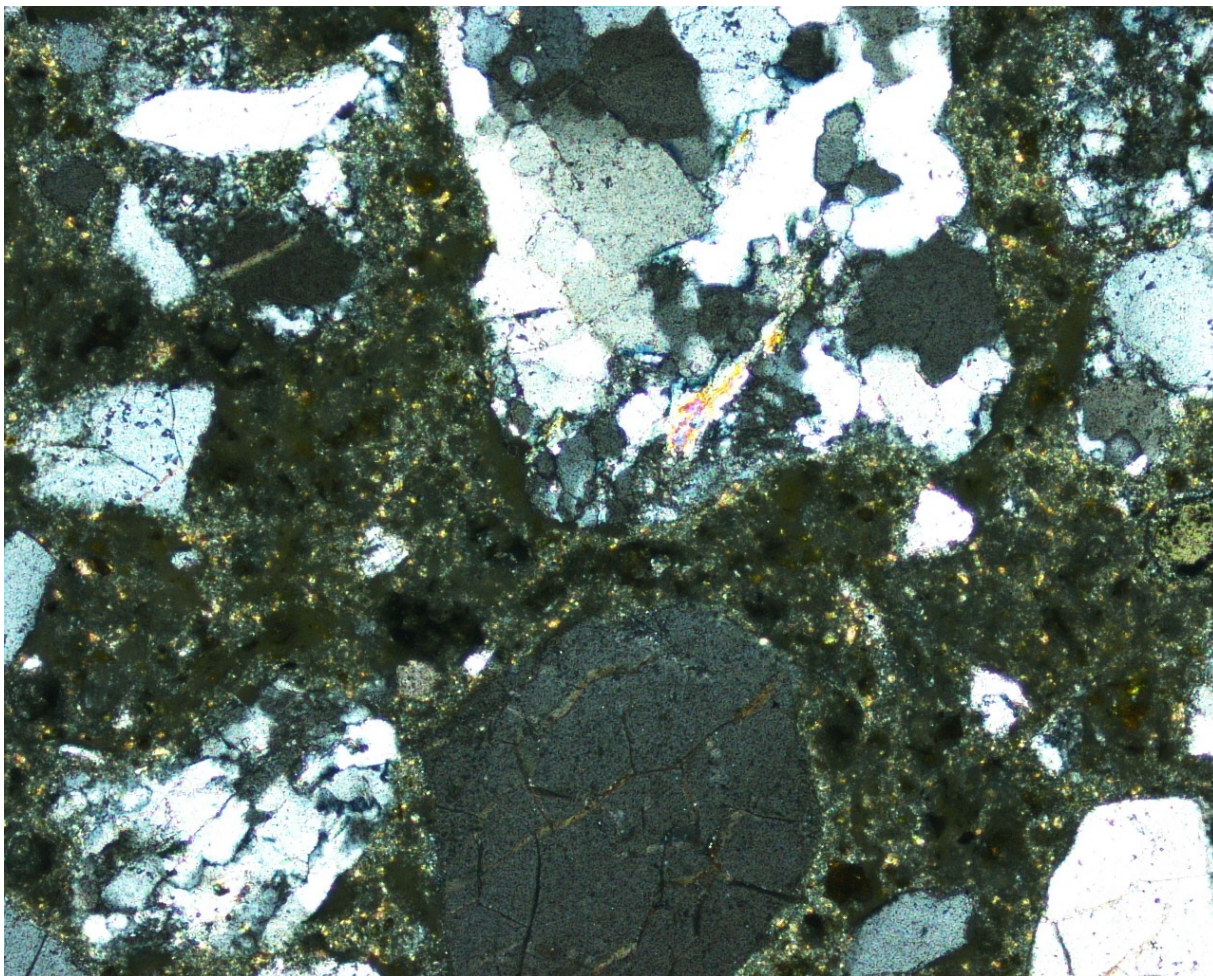




**Obrázek 30: Optická polarizační mikroskopie, vzorek 15 940L - 4 - I4**

**POPIS** V centrální části fotografie je kulový pór, v okolním cementovém kameni jsou pak dále písková zrna křemene, živce a kvarcitu. Nejsou zde patrné žádné další detaily částic nebo poškození struktury (např. trhlinami menšími jak cca 10 μm).  
Měřítko na snímku.  
Šikmé nikoly.





**Obrázek 31: Optická polarizační mikroskopie, vzorek 15 940L - 5 - I4**

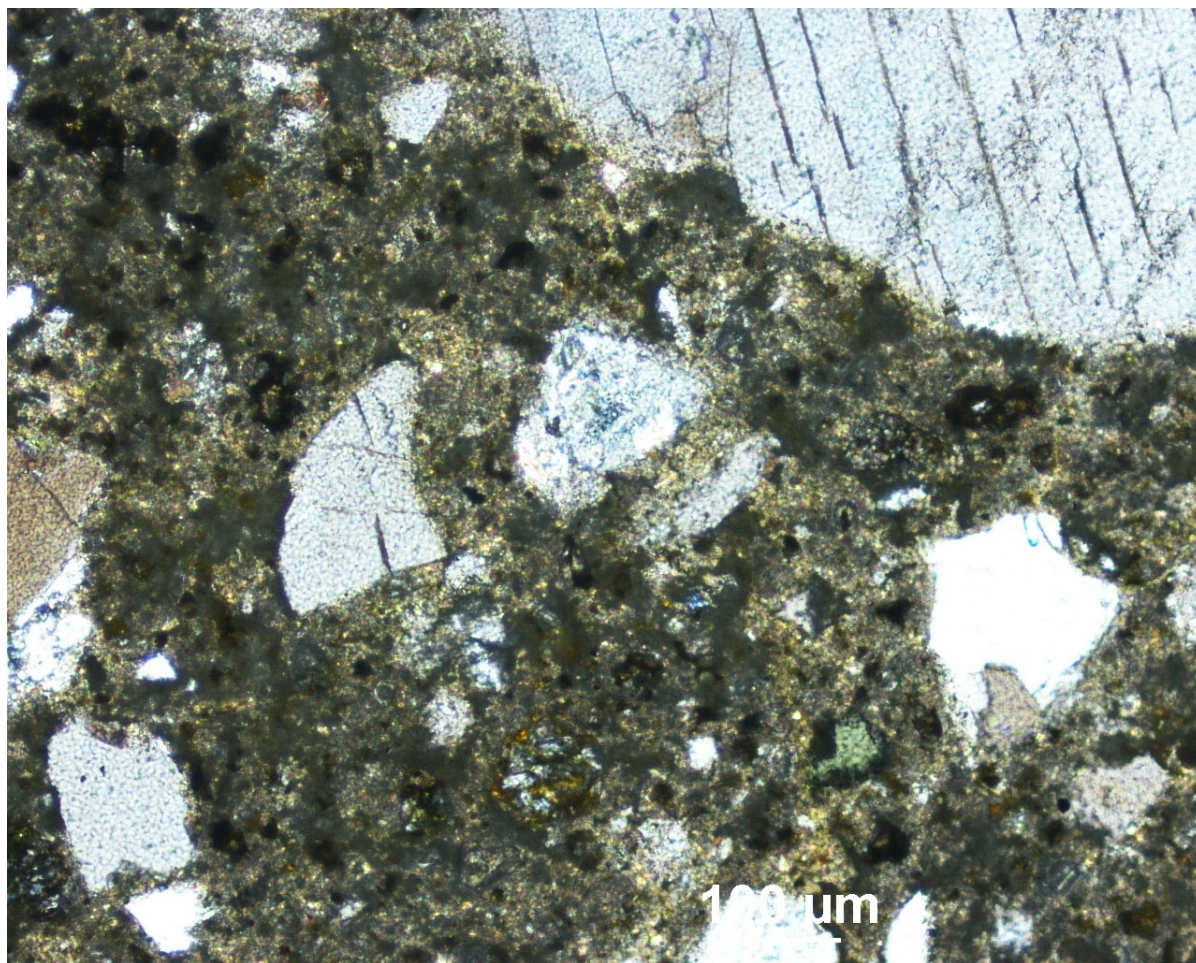
**POPIS** V centrální části fotografie jsou písková zrna křemene a kvarcitu. Kolem zrn křemene je pak tenký lem CSH gelu.

Nejsou zde patrné žádné další detaily částic nebo poškození struktury (např. trhlinami menšími jak cca 10  $\mu\text{m}$ ).

Měřítko na snímku.

Šikmé nikoly.





**Obrázek 32: Optická polarizační mikroskopie, vzorek 15 940 L - 6 - I4**

**POPIS** V centrální části fotografie jsou písková zrna křemene a kvarcitu. Kolem zrn křemene je pak tenký lem CSH gelu.

Nejsou zde patrné žádné další detaily částic nebo poškození struktury (např. trhlinami menšími jak cca 10 μm).

Měřítko na snímku.

Šikmé nikoly.

Z fotografií je patrné, že použití optické polarizační mikroskopie pro důkazy vzniku trhlin a jejich vyplnění novými produkty (vzniklých na bázi krystalizačních příměsí) neposkytuje bez dalších úprav preparátů vhodnou analytickou metodu.

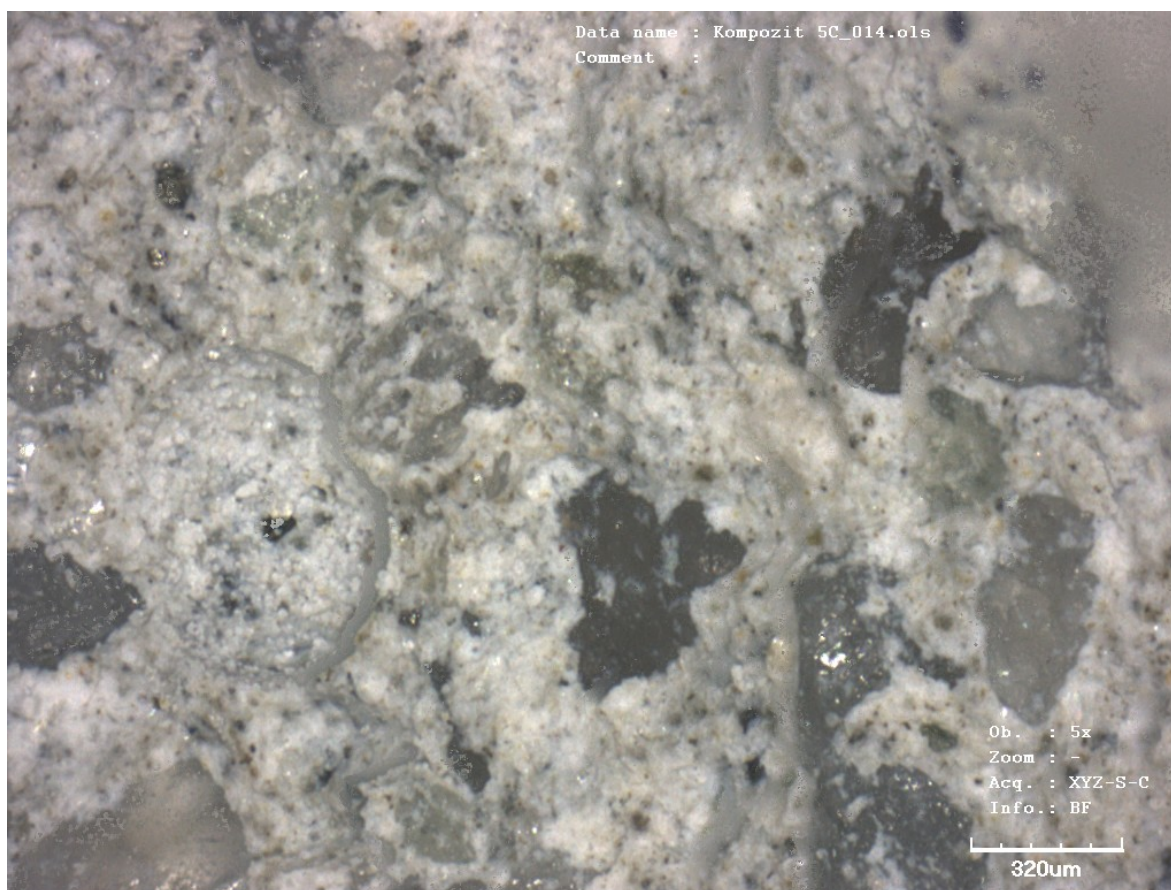
Ovšem dokumentuje vznik jemných lemů CSH gelů v kontaktní zóně u křemenných zrn.

### 8.7.3. Elektronová scanující mikroskopie

Vybrané vzorky byly studovány taktéž pomocí elektronové scanující mikroskopie (SEM). Vzorek byl pokoven zlatem. Snímkování čerstvé lomové plochy betonu ovšem nebylo definovatelné. Pro definování by bylo nutné použít paralelní lokální analýzu EDAX.

### 8.7.4. Konfokální mikroskopie

Fotografie čerstvé lomové plochy betonového vzorku, odebraného ze střední části zkušebního tělesa poblíž povrchu, byly pořízeny na konfokálním mikroskopu OLYMPUS LEXT. Fotografie i s komentářem jsou uvedeny na Obr. 33 – 40.



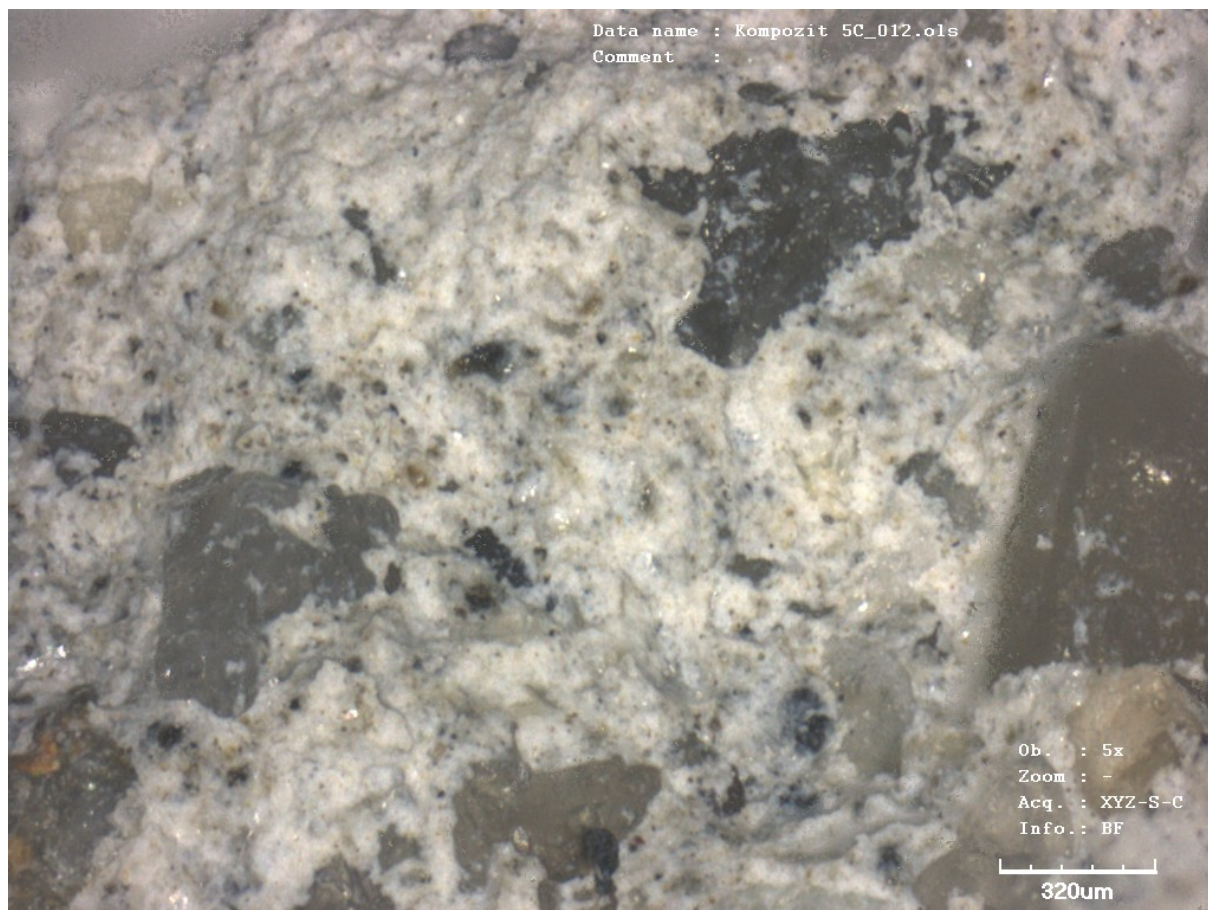
**Obrázek 33: Konfokální mikroskopie, vzorek 15 932L - S4**

**POPIS** V centrální části fotografie vlevo, je zřejmě kulový pór s jemným krystalickým (?) povlakem a zřejmě amorfním lemem. V cementovém kameni jsou minerální zrna



především křemene nebo kvarcitů. Zrna jsou dobře obalená cementovým kamenem. Nejsou zde patrné žádné detaily částic nebo poškození struktury (např. trhlinami menšími cca 7  $\mu\text{m}$ ).

Měřítko a zvětšení na snímku.

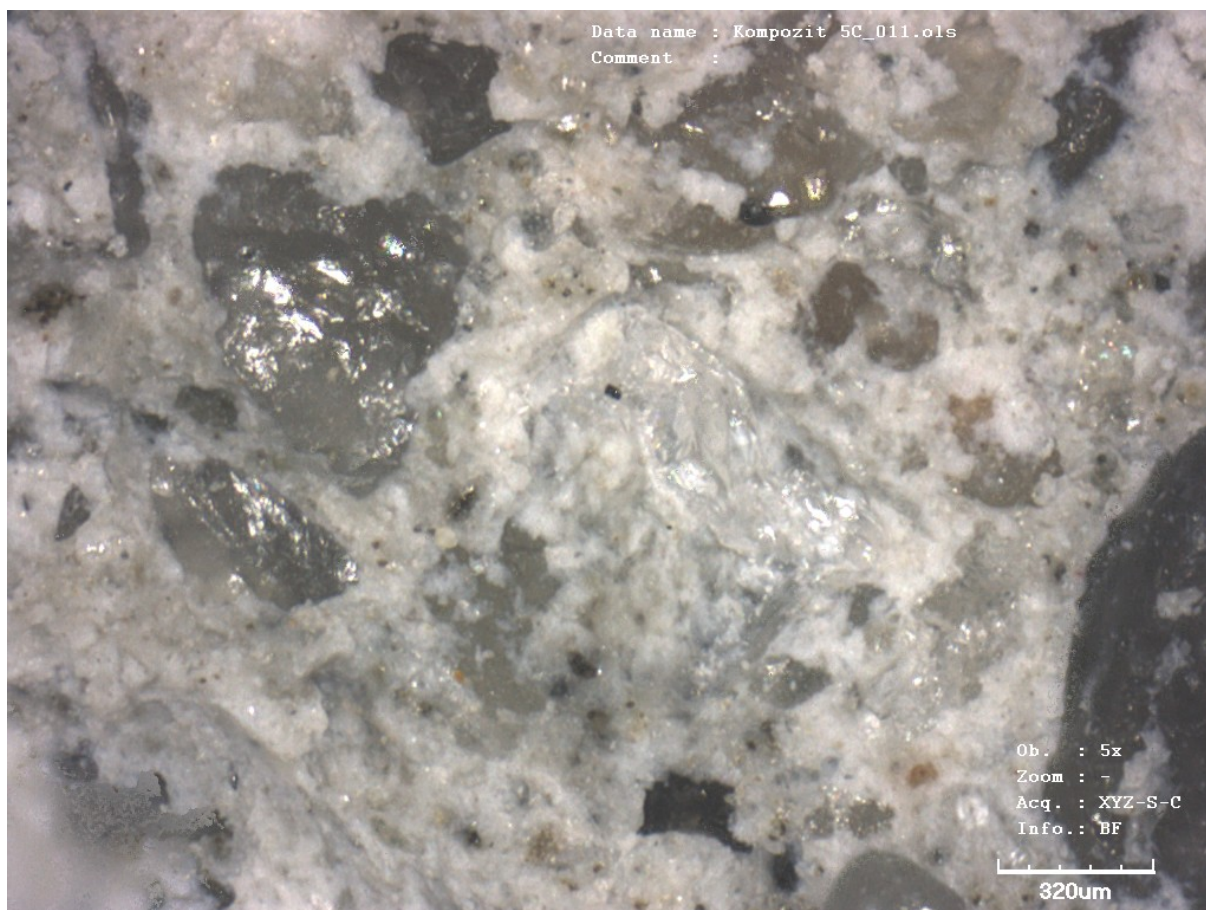


**Obrázek 34: Konfokální mikroskopie, vzorek 15 934L - A4**

**POPIS** V cementovém kameni jsou minerální zrna především křemene nebo kvarcitů. Zrna jsou dobře obalená cementovým kamenem.

Nejsou zde patrné žádné detaily částic. Viditelná trhlina je nespolehlivě identifikovatelná jako kontrakční trhlina. Její identifikace by vyžadovala jiný postup.

Měřítko a zvětšení na snímku.



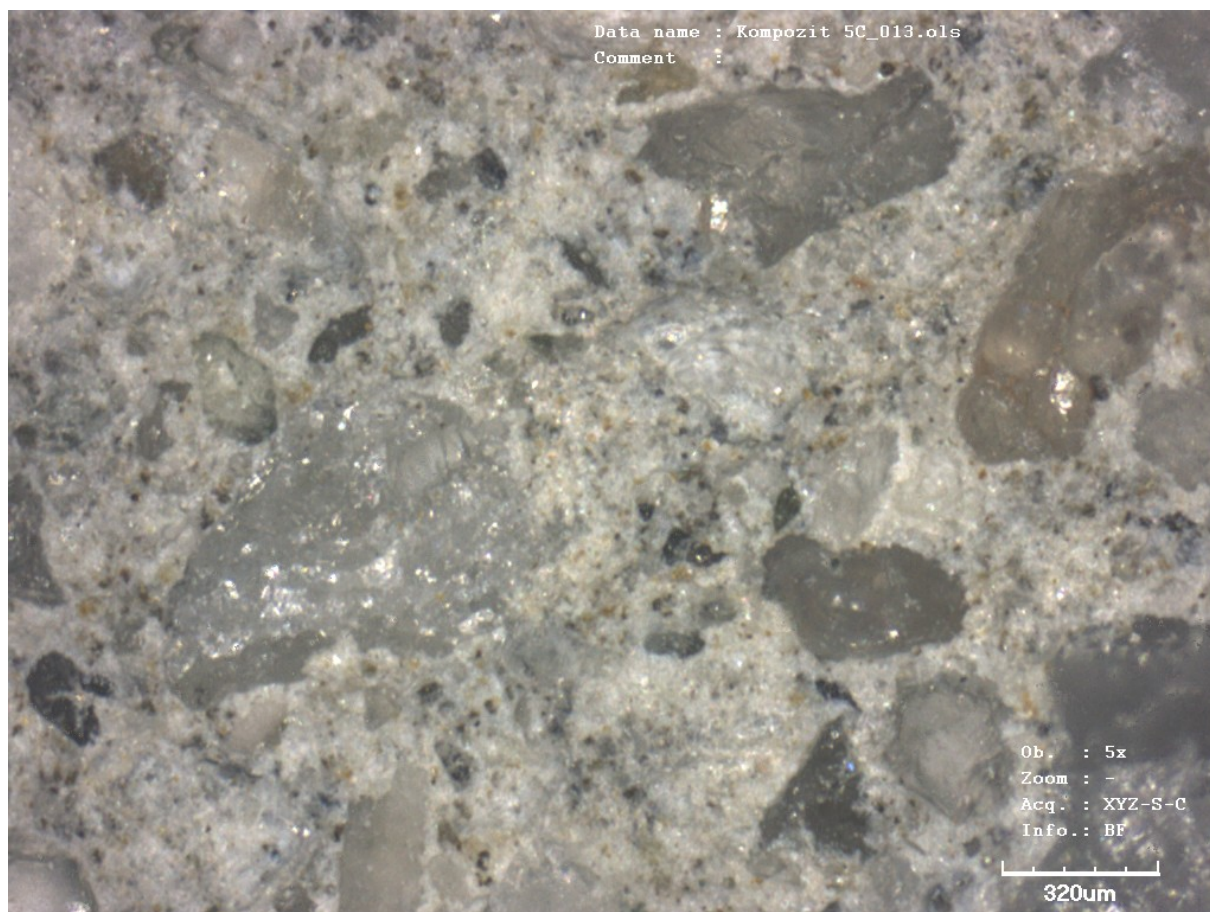
**Obrázek 35: Konfokální mikroskopie, vzorek 15 936L - S1**

**POPIS** V cementovém kameni jsou minerální zrna především křemene a kvarcitů. Zrna jsou dobře obalena cementovým kamenem. Kolem zrna křemene je nezřetelný lem s vyšším podílem CSH gelu.

Nejsou zde patrné žádné detaily částic nebo poškození struktury (např. trhlinami menšími cca 7  $\mu\text{m}$ ).

Měřítka a zvětšení na snímku.





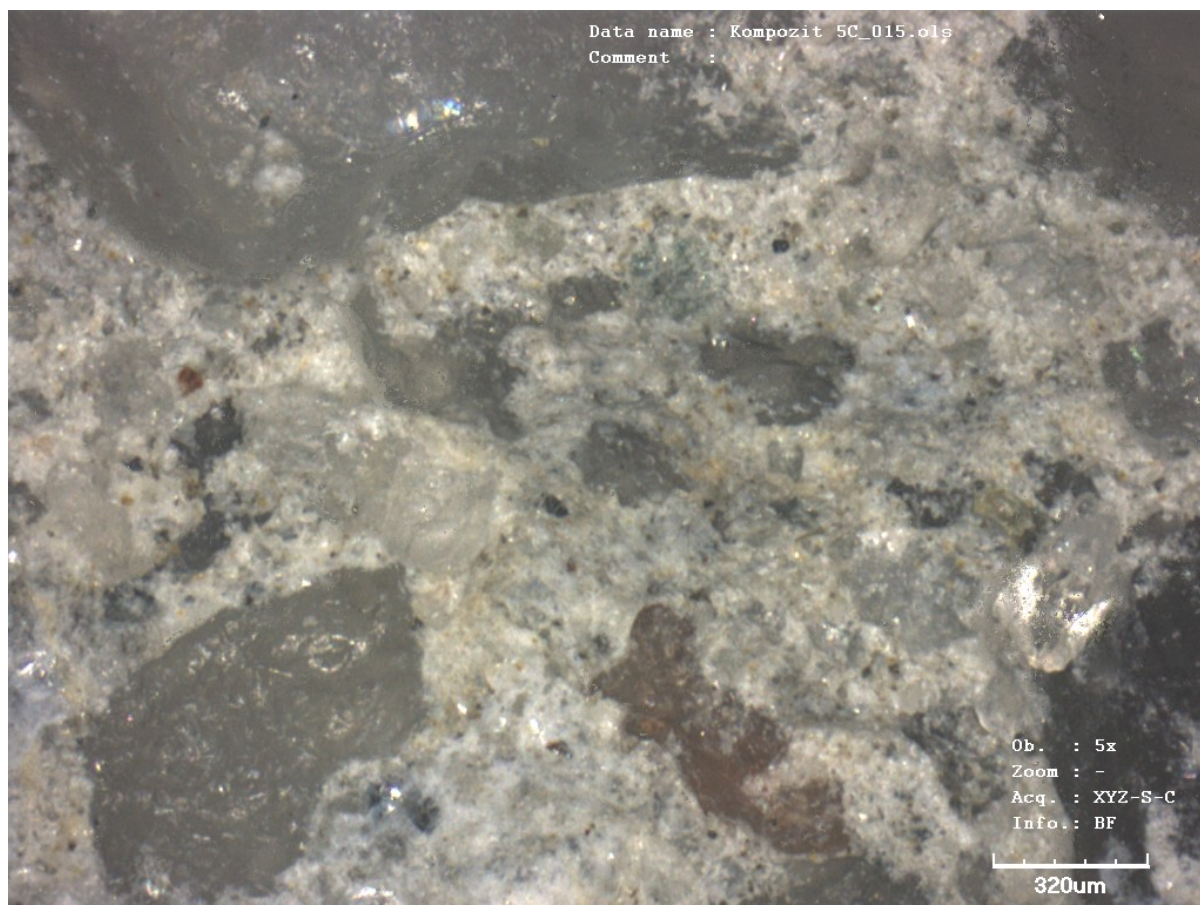
**Obrázek 36: Konfokální mikroskopie, vzorek 15 937L - R1**

**POPIS**

V cementovém kameni jsou minerální zrna především křemene a kvarcitů. Zrna jsou dobře obalená cementovým kamenem. Kolem zrna křemene je nezřetelný lem s vyšším podílem CSH gelu.

Nejsou zde patrné žádné detaily částic nebo poškození struktury (např. trhlinami menšími cca 7  $\mu\text{m}$ ).

Měřítka a zvětšení na snímku.



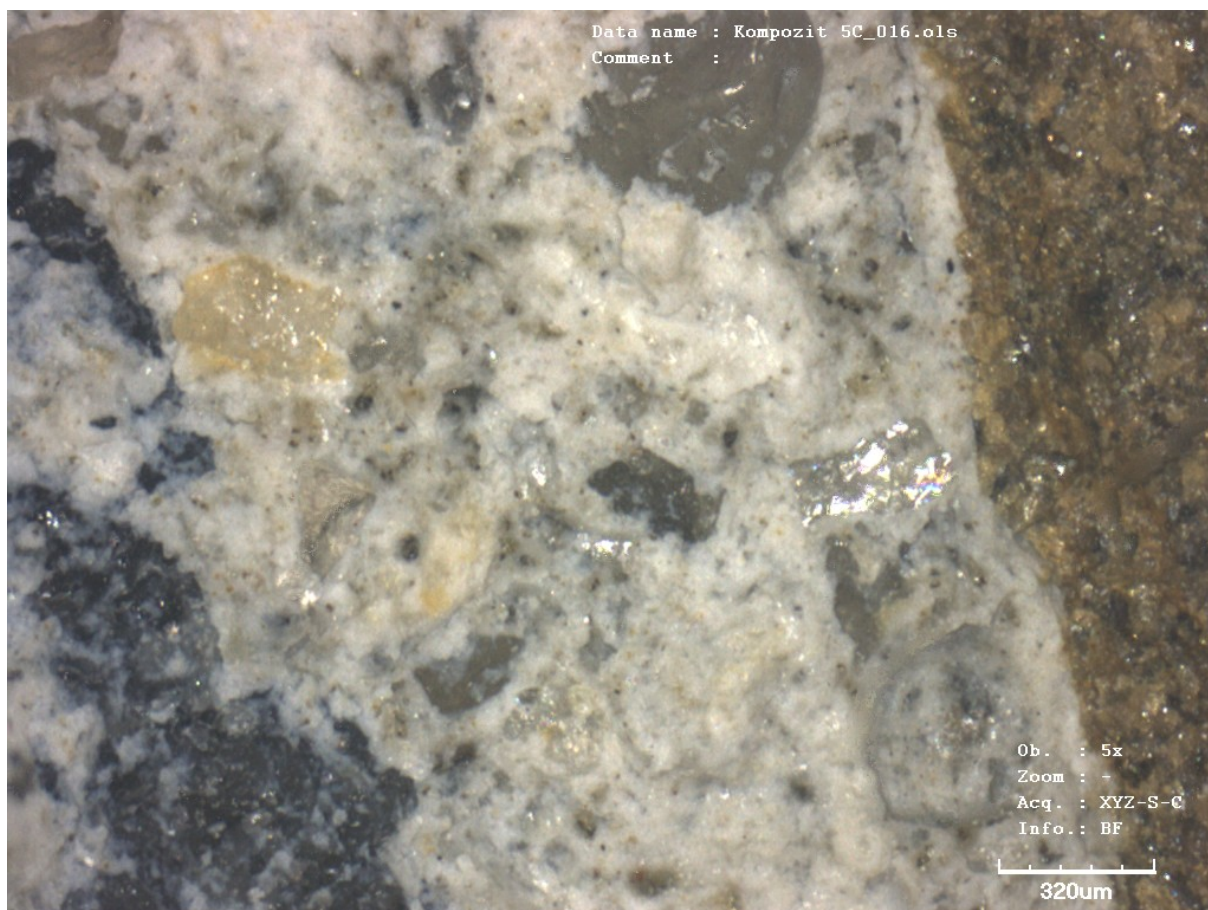
**Obrázek 37: Konfokální mikroskopie, vzorek 15 938L - R4**

**POPIS** V cementovém kameni jsou minerální zrna především křemene a kvarcitů. Zrna jsou dobře obalená cementovým kamenem.

Nejsou zde patrné žádné detaily částic nebo poškození struktury (např. trhlinami menšími cca 7  $\mu\text{m}$ ).

Měřítka a zvětšení na snímku.



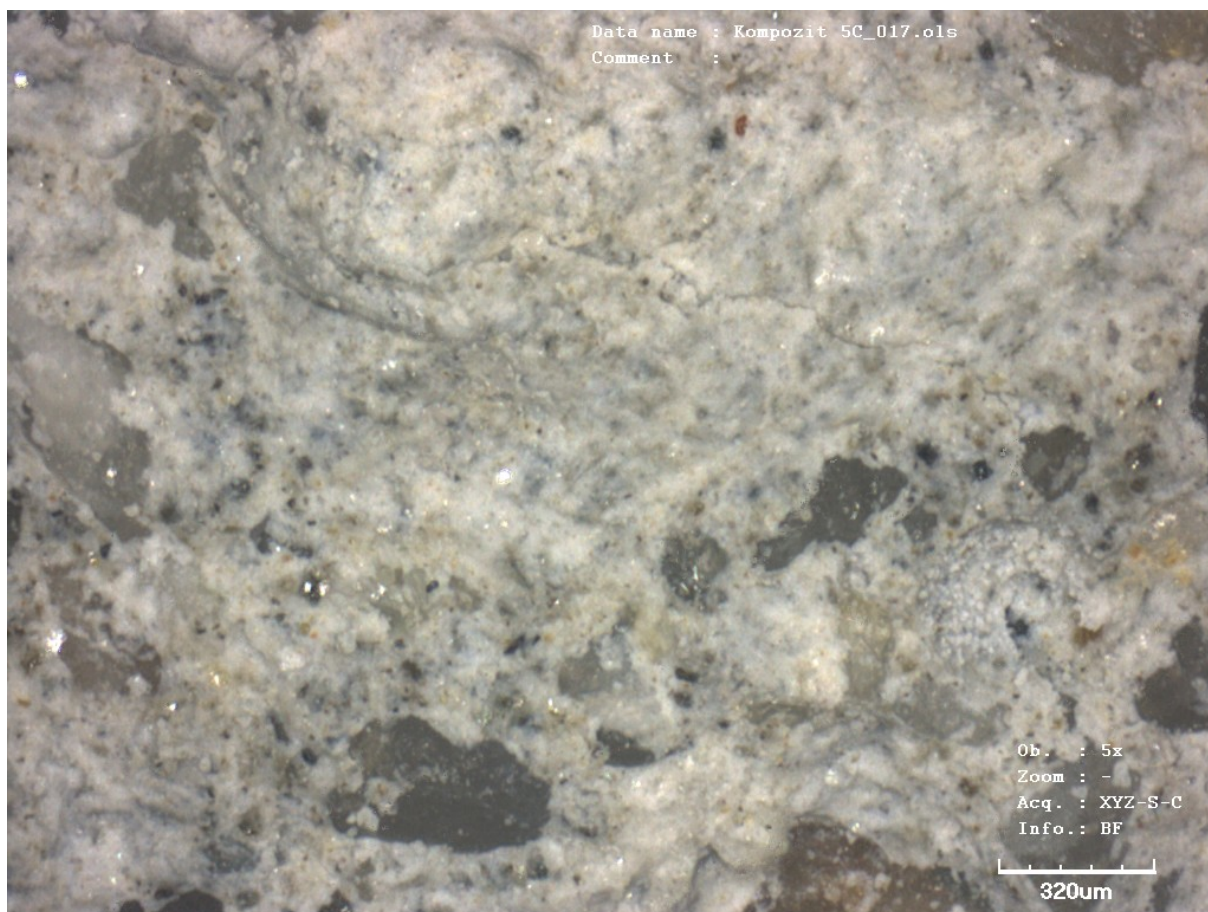


**Obrázek 38: Konfokální mikroskopie, vzorek 15 939L - A1**

**POPIS** V cementovém kameni jsou minerální zrna především křemene a kvarcitů. Zrna jsou dobře obalená cementovým kamenem. Kolem zrn křemene je málo zřetelný lem CSH gelu. Vzorek je svým charakterem anomální a to velmi světlým a relativně homogenním cementovým kamenem.

Nejsou zde patrné žádné detaily částic nebo poškození struktury (např. trhlinami menšími cca 7  $\mu\text{m}$ ).

Měřítka a zvětšení na snímku.



**Obrázek 39: Konfokální mikroskopie, vzorek 15 940L - 1 – I4**

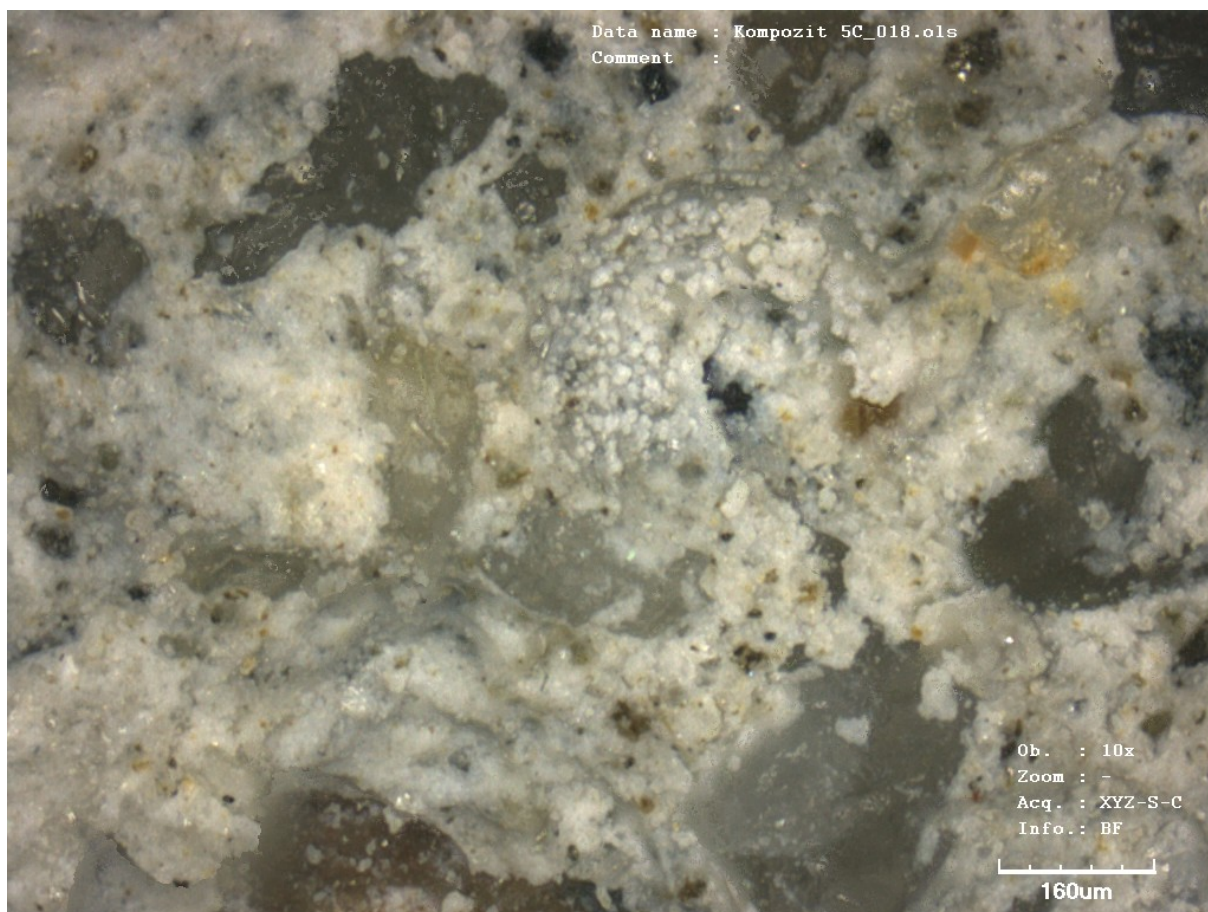
**POPIS** V cementovém kameni jsou minerální zrna především křemene a kvarcitů. Zrna jsou dobře obalená cementovým kamenem. Kolem zrn křemene je málo zřetelný lem CSH gelu. V póru na pravé straně snímku jsou na stěně krystalické agregáty vyloučeného minerálu.

Ve vzorku jsou patrné trhliny procházející vzorek z pravé do levé strany. Jejich vznik je mechanický při přípravě preparátu.

Nejsou zde patrné žádné detaily částic menších cca 7 μm.

Měřítka a zvětšení na snímku.





**Obrázek 40: Konfokální mikroskopie, vzorek 15 940L - 2 - I4**

**POPIS** Detail předchozí fotografie. V cementovém kameni jsou minerální zrna především křemene a kvarcitů. Zrna jsou dobře obalená cementovým kamenem. Kolem zrn křemene je málo zřetelný lem CSH gelu. V póru na pravé straně snímku jsou na stěně krystalické agregáty vyloučeného blíže neidentifikovatelného minerálu. Ve vzorku jsou patrné trhliny procházející vzorek z pravé do levé strany. Jejich vznik je mechanický při přípravě preparátu. Nejsou zde patrné žádné detaily částic menších cca 3  $\mu\text{m}$ . Měřítka a zvětšení na snímku.

Zvolené analytické metody prozkoumání povrchu preparátů cementového kamene, neprokázaly zaplnění možných trhlin novotvořenými gely na bázi krystalických příměsí. Důvodem je nedokonalá krystalická struktura novotvořených gelů a také jejich nízká koncentrace v betonu. Aby bylo možné prokázat přítomnost novotvořených gelů při optické mikroskopii bylo by nutné přistoupit k výrobě vzorků pouze na bázi cementu a s podstatně vyššími koncentracemi příměsí.

## 8.8. Analytické práce vyšetření krystalizačních příměsí

Pro analýzu krystalizačních příměsí, byly použity práškové vzorky, které byly uloženy v suchém prostředí, v uzavřených nádobách. Neanalyzovaným vzorkem byla pouze kapalná příměs Conseal Admix Liquid. Vzorky byly odebrány pro DSC/TG analýzu, spektrometr a RTG práškovou difrakci. Dále byly příměsi podrobeny měření vývinu hydratačního tepla v kalorimetru. Vzorky po ukončení kalorimetrické zkoušky byly poté použity pro opětovnou DSC/TG analýzu.

### 8.8.1. Spektrometr

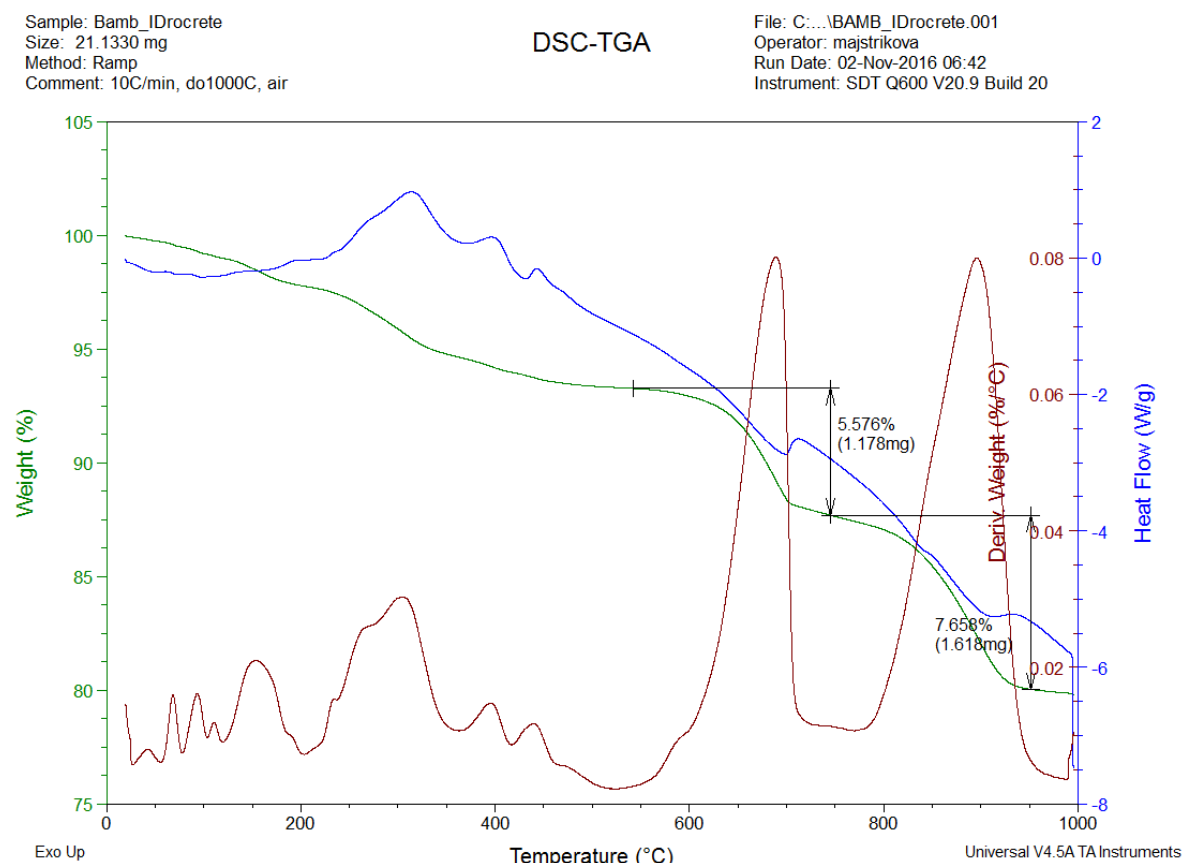
Měřením pomocí spektrometru byly identifikovány následující prvky, nacházející se v jednotlivých krystalizačních příměších. Byly vybrány prvky, které se zde nacházejí aspoň v minimálním množství ~ 0,23 %. Prvky a jejich koncentrace [%] je v Tab. 32. Celé měření je uvedeno v Příloze 42.

Tab. 32: Spektrometr krystalizačních příměsí

	Příměs	Idrocrete KR 1000	Akvatron 12	Xypex Admix C 1000 NF	Xypex Admix C1000	Krystol Mix	Sika WT- 200P
Prvek	Značka	Hodnota [%]	Hodnota [%]	Hodnota [%]	Hodnota [%]	Hodnota [%]	Hodnota [%]
Železo	Fe	0,989	0,532	1,632	0,927	0,865	1,155
Vápník	Ca	38,948	26,787	44,100	37,306	41,546	39,711
Draslík	K	0,492	0,266	0,391	0,391	0,368	0,262
Hliník	Al	2,276	0,638	1,427	2,048	1,040	0,881
Křemík	Si	7,943	3,446	5,742	7,806	5,667	3,648
Chlór	Cl	---	0,790	---	---	---	---
Síra	S	1,656	3,486	1,225	1,220	1,302	0,511

### 8.8.2. DSC/TG analýza krystalizačních příměsí

Pro analýzu byl použit přístroj SDT Q600 V20.9 Build 20. Analýza byla provedena rychlostí zahřívání 10 °C, hmotnost navážky ~ 20 mg, atmosféra vzduch a zahřívání v rozsahu 20 – 1000 °C. Výsledné křivky jsou na Obr. 41 – 46.

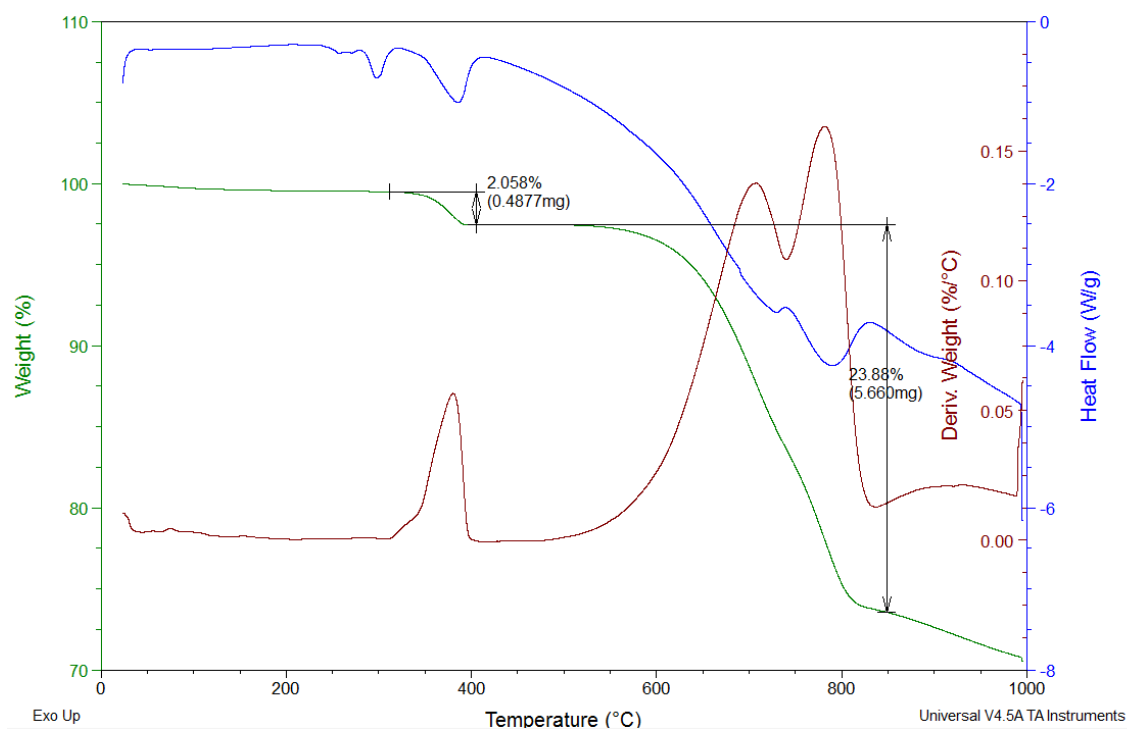


Obrázek 41: DSC/TG analýza - Idrocrete KR 1000

Sample: Bamb\_Akvatron  
Size: 23.7020 mg  
Method: Ramp  
Comment: 10C/min, do1000C, air

### DSC-TGA

File: C:\...\Termálka příměsí\BAMB\_Akvatron.001  
Operator: majstrikova  
Run Date: 01-Nov-2016 09:36  
Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20

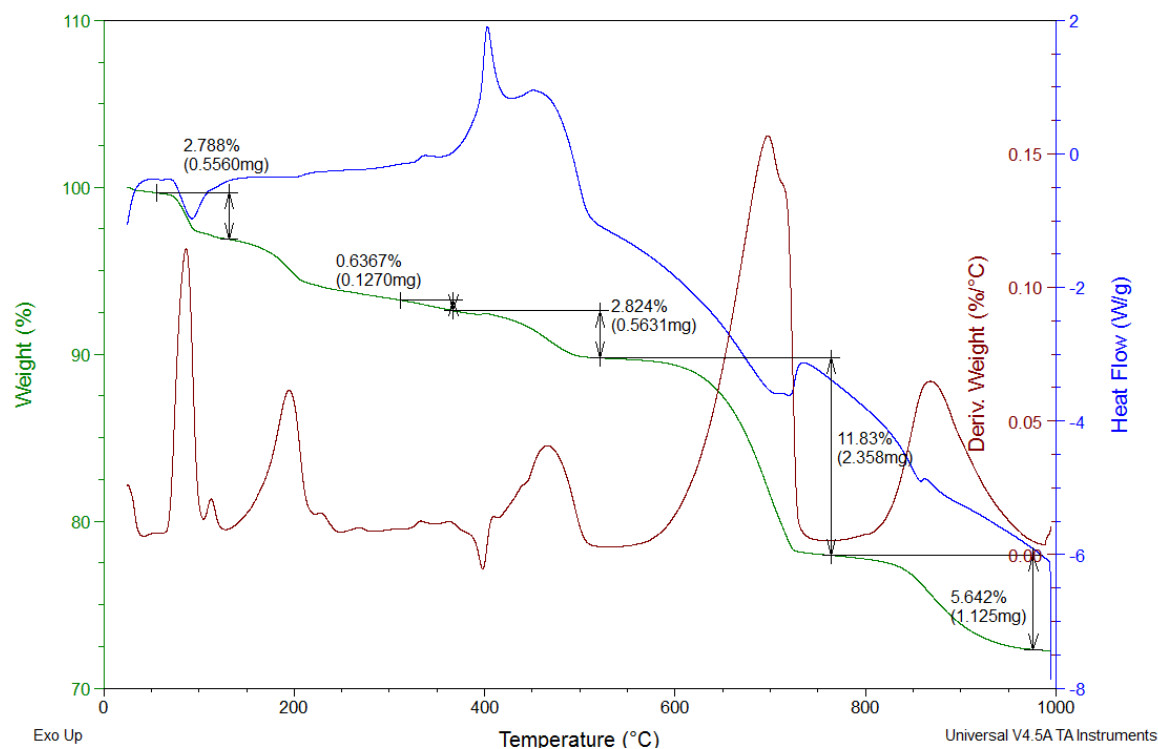


**Obrázek 42: DSC/TG analýza - Akvatron 12**

Sample: Bamb\_XypexNF  
Size: 19.9400 mg  
Method: Ramp  
Comment: 10C/min, do1000C, air

### DSC-TGA

File: C:\...\Termálka příměsí\BAMB\_XYPEXNF.001  
Operator: majstrikova  
Run Date: 01-Nov-2016 11:51  
Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20

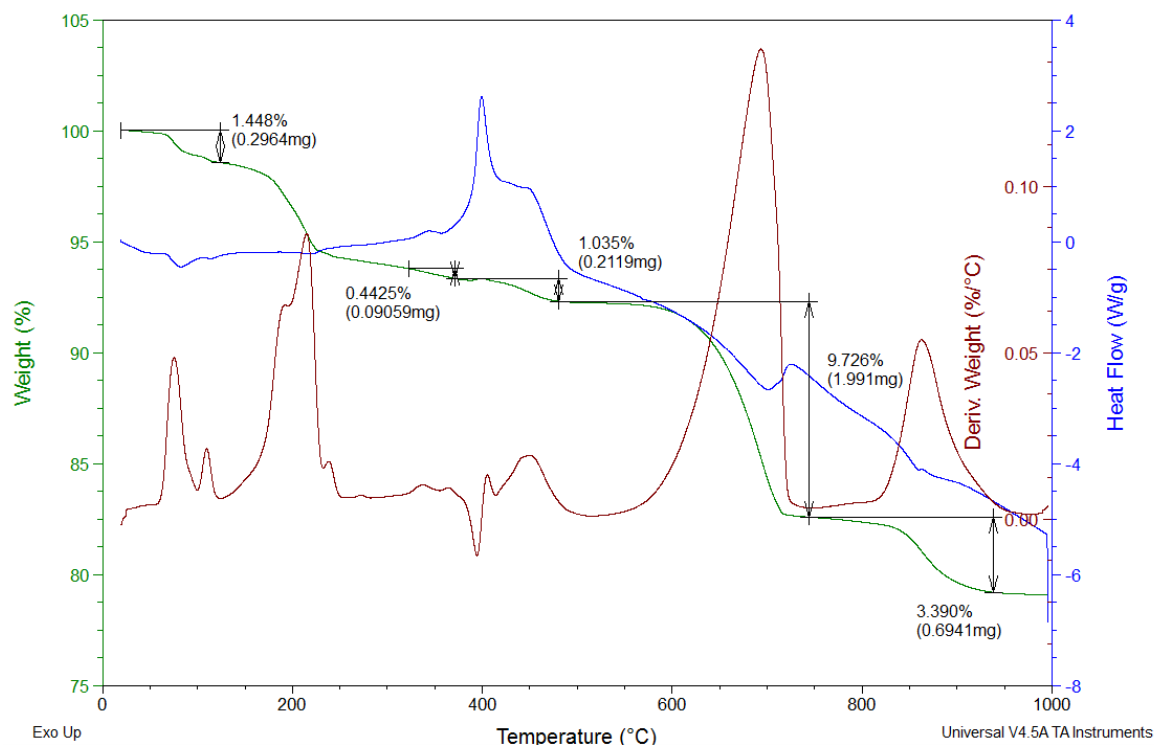


**Obrázek 43: DSC/TG analýza - Xypex Admix C 1000 NF**

Sample: Bamb\_XYPEX  
Size: 20.4730 mg  
Method: Ramp  
Comment: 10C/min, do1000C, air

### DSC-TGA

File: C:\...\Termálka příměsí\BAMB\_XYPEX.001  
Operator: majstrikova  
Run Date: 01-Nov-2016 06:56  
Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20

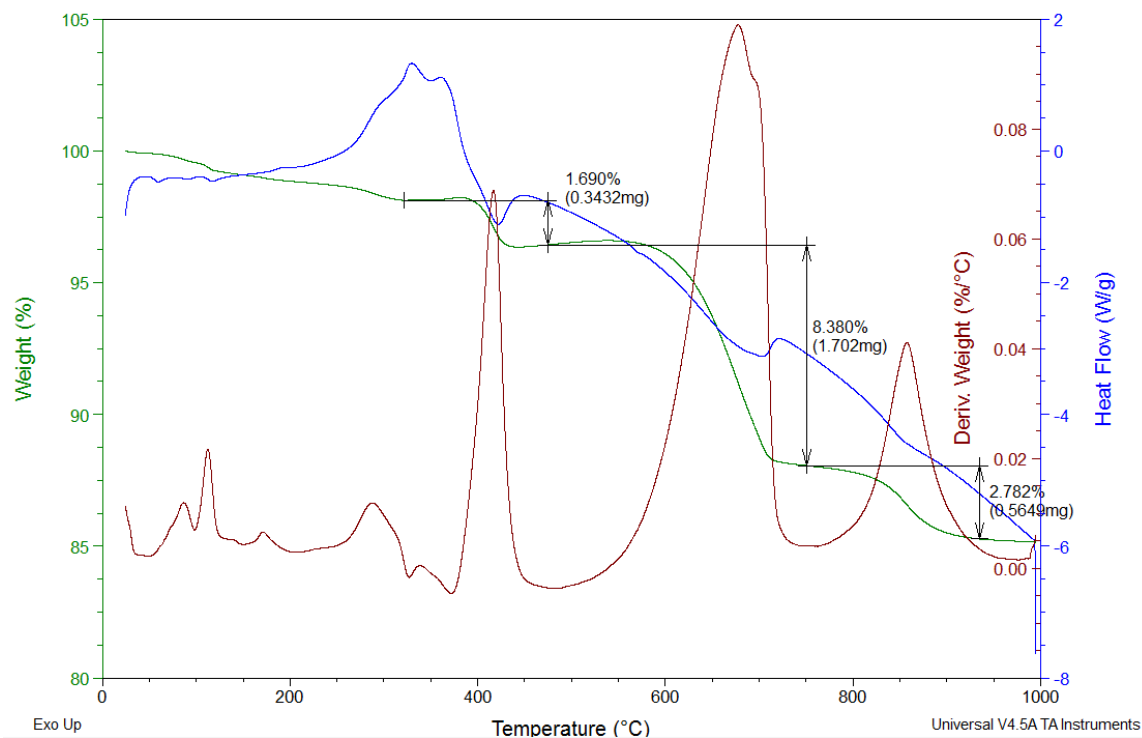


**Obrázek 44: DSC/TG analýza - Xypex Admix C 1000**

Sample: Bamb\_Krystol  
Size: 20.3050 mg  
Method: Ramp  
Comment: 10C/min, do1000C, air

### DSC-TGA

File: C:\...\Termálka příměsí\BAMB\_Krystol.001  
Operator: majstrikova  
Run Date: 01-Nov-2016 14:21  
Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20

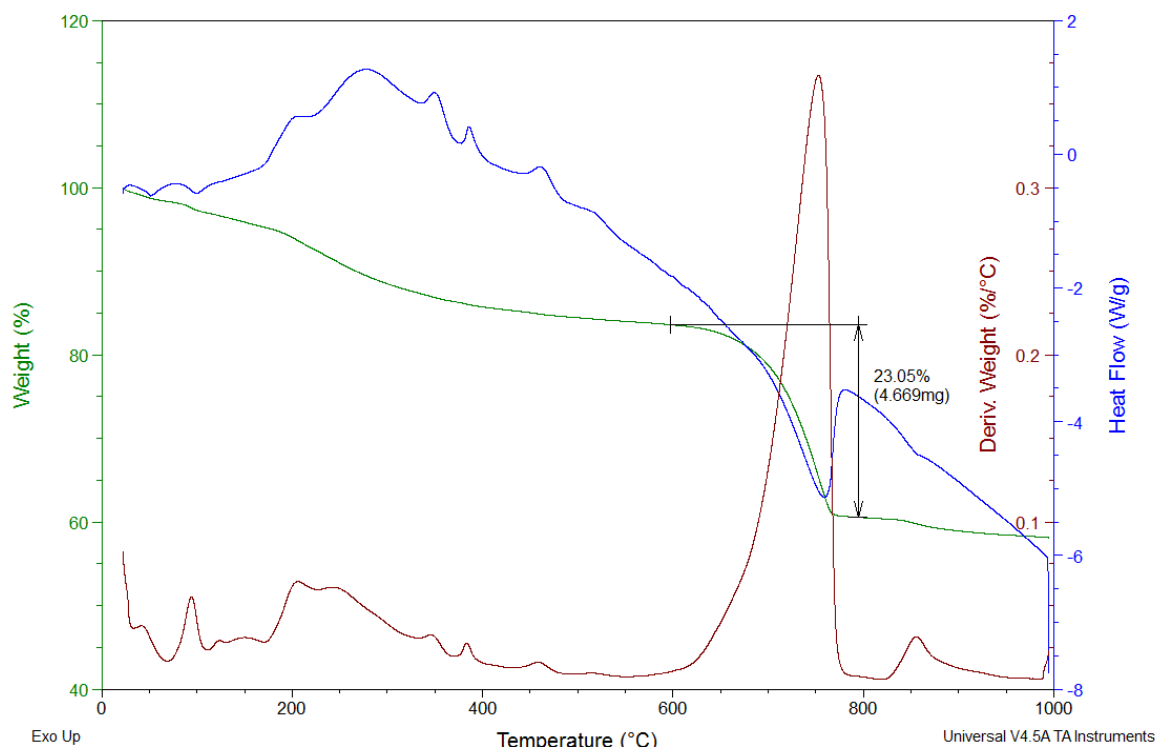


**Obrázek 45: DSC/TG analýza - Krystol Mix**

Sample: Bamb\_SIKA  
Size: 20.2560 mg  
Method: Ramp  
Comment: 10C/min, do1000C, air

### DSC-TGA

File: C:\...\Termálka příměsí\BAMB\_SIKA.001  
Operator: majstrikova  
Run Date: 02-Nov-2016 09:42  
Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20



**Obrázek 46: DSC/TG analýza - Sika WT-200P**

DSC/TG analýza čistých práškových krystalizačních příměsí je obtížně identifikovatelná. Dohromady s Tab. 30 a Tab. 33 je identifikováno, že ve všech krystalizačních příměsích je určité množství křemene z přítomnosti jemných křemičitých písků. Další součástí příměsí jsou slínkové minerály a vápenec.

Příměsí Xypex Admix C1000 a Xypex Admix C1000 (NF) prokazatelně obsahují sádrovec a anhydrit, což bylo potvrzeno, jak na DSC/TG analýze, tak na RTG difrakční analýze.

Dle termálních analýz krystalizačních příměsí byla předpokládána přítomnost uhličitanu sodného. Ta nebyla při RTG difrakční analýze potvrzena. Ovšem dle Tab. 30 je přítomna v příměsí Idrocrete KR 1000, v Krystol Mix a v Sika WT-200P. Přítomnost uhličitanu sodného by mohla zajišťovat chování krystalizačních příměsí jako u geopolymérů. Typických pro své nástupy hydratačních procesů v delším časovém úseku.

Bylo by vhodné provést dále termální analýzu síranu sodného (jež byl prokazatelně nalezen na RTG difrakci u příměsí Akvatron 12) a porovnat jeho křivku s výslednými termálními analýzami jednotlivých krystalizačních příměsí.

Nalezené rozkladné reakce jsou endotermní. Během zahřívání dochází k úbytku hmotnosti. Blíže neidentifikovatelné endotermní reakce do 300 – 400 °C by mohly být organické příměsi, které vyhoří. Tento fakt, by bylo vhodné ověřit na infračervené spektrometrii čistých příměsí. Výsledné IČ spektrometry by mohly přesněji identifikovat složení příměsí spolu v porovnání s výsledky s RTG práškové difrakce a DSC/TG analýz.

### **8.8.3. RTG prášková difrakce krystalizačních příměsí**

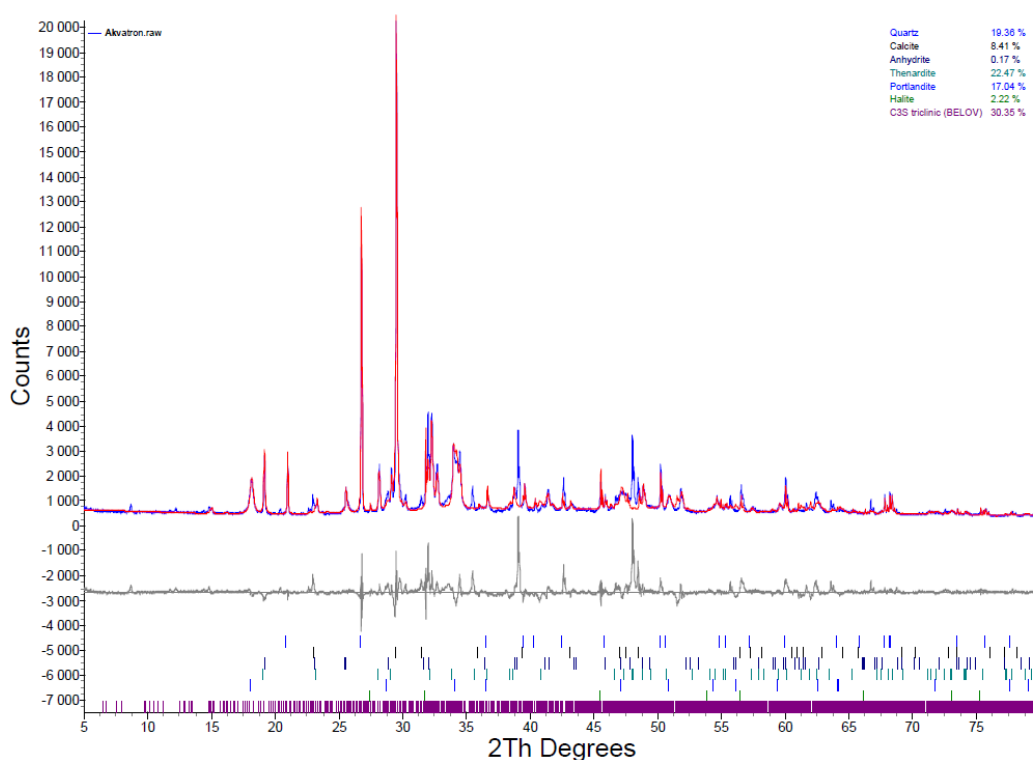
Rentgenovou práškovou difrakcí bylo zjištěno složení práškových krystalizačních příměsí. Ve všech příměsích se nachází jisté množství křemene (z křemičitých písků), dále slídkové minerály. V určitých příměsích se nachází v podstatě jen vápenec. Výsledný difraktogram je uveden na Obr. 47 v Příloze 43 – 47. Zjištěné složení je uvedeno v Tab. 33. Pořadí složek v Tab. 33 krystalizačních příměsí, je uvedeno dle procentuálního výstupu z RTG práškové difrakce. Toto složení je jen orientační, v tabulce z toho důvodu není uvedeno přesné množství.

Při DSC/TG analýze bylo dle průběhu termogravimetrické křivky předpokládáno zastoupení uhličitanu sodného. Ten se při RTG difrakci nenalezl. Bylo by vhodné provést DSC/TG analýzu nalezeného (Akvatron 12) síranu sodného a následně ji porovnat s výslednými termogravimetrickými křivkami krystalizačních příměsí.

**Tab. 33: RTG práškový difraktometr - krystalizační příměsi**

<b>IDROCRETE KR 1000</b>	Vápenec	<b>XYPEX ADMIX C1000</b>	Křemen
	Trojklonný trikalciumsilikát		Trojklonný trikalciumsilikát
	Kosočtverečný trikalciumaluminát		Portlandit
	Minerál rosenhahnit		Vápenec
			Sádra
<b>AKVATRON 12</b>	Křemen	<b>XYPEX ADMIX C1000 NF</b>	Trojklonný trikalciumsilikát
	Vápenec		Portlandit
	Anhydrit		Vápenec
	Trojklonný trikalciumsilikát		$\beta$ – dikalciumsilikát
	Thenardit – síran sodný		Anhydrit
	Portlandit		Sádra
			Křemen
<b>SIKA WT – 200P</b>	Vápenec	<b>KRYSTOL MIX</b>	Křemen
	Trojklonný trikalciumsilikát		Trojklonný trikalciumsilikát
	Portlandit		Portlandit
	$\beta$ – dikalciumsilikát		$\beta$ – dikalciumsilikát
	Křemen		Vápenec





**Obrázek 47: Difraktogram - Akvatron 12**

#### **8.8.4. Vývin hydratačního tepla krystalizačních příměsí v kalorimetru**

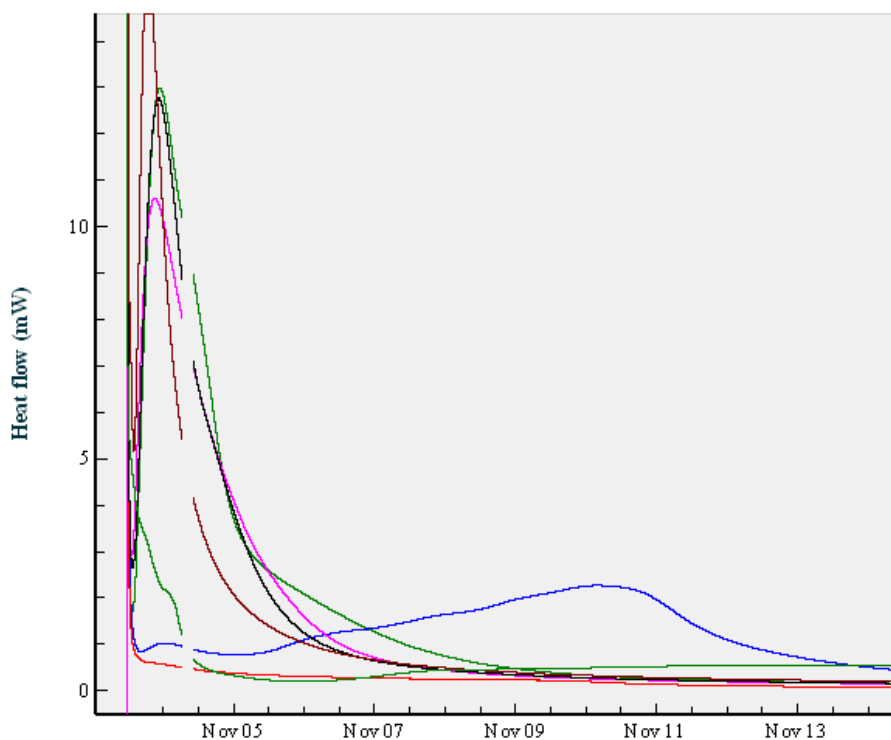
Kalorimetr slouží pro určení množství tepla, které vzniká při hydrataci cementu. Pro měření vývinu hydratačního tepla cementu za přítomnosti krystalizačních příměsí, byla zvolena vyšší 10% koncentrace práškových příměsí. Výsledné ovlivnění vývinu hydratačního tepla je uvedeno na Obr. 48.

10% koncentrace příměsí s cementem ovlivnila vývin hydratačního tepla následovně. Příměs Idrocrete KR 1000 (směs 359:6), Akvatron 12 (směs 359:3) a Krystol Mix (směs 359:5) neovlivnily významně vývin hydratačního tepla oproti referenčnímu vzorku – pouze cement (směs 359:1).

Příměs Xypex Admix C1000 (směs 359:2) posunula vývin tepla oproti referenčnímu vzorku zhruba o týden, kdy započala hydratace směsi. Maximální vývin tepla je cca pětínový vzhledem k referenčnímu vzorku. Směs s příměsí Xypex Admix C1000 NF (směs 359:4) nehydratovala za celou dobu průběhu měření (celkem 3 týdny). Tento fakt potvrzuje DSC/TG analýza v Příloze 48.

Příměs Sika WT - 200P vývin hydratačního tepla neprodloužila, ovšem snížila ho na cca čtvrtinu oproti referenčnímu vzorku. Po ukončení kalorimetrického měření, směs nebyla dostatečně zhydratovaná, což je vidět i na DSC/TG analýze v Příloze 51.

— Signal, 359:1, Ref      — Signal, 359:2, Xypex      — Signal, 359:3, Akvarol  
 — Signal, 359:4, XypexNF      — Signal, 359:5, Krystol      — Signal, 359:6, IDocrete  
 — Signal, 359:7, Sika



Obrázek 48: Vývin hydratačního tepla v kalorimetru

#### 8.8.5. DSC/TG analýza 10% koncentrace krystalizačních příměsí + cement

Po ukončení měření vývinu hydratačního tepla v kalorimetru, byly výsledné produkty hydratace použity pro opětovnou DSC/TG analýzu. Ta pomohla odhalit spolu s termálními analýzami příměsí a výsledky RTG práškové difrakce, jak příměsí ovlivňují průběh hydratace cementu. Výsledné křivky termální analýzy jsou na Obr. 49 – 50 a dále v Příloze 48 – 51.

Sample: Bam\_IDOCRETE\_CAL

Size: 49.3810 mg

Method: Ramp

Comment: Bambuchova IDOCRETE po Cal 10C/min, do1000C, air

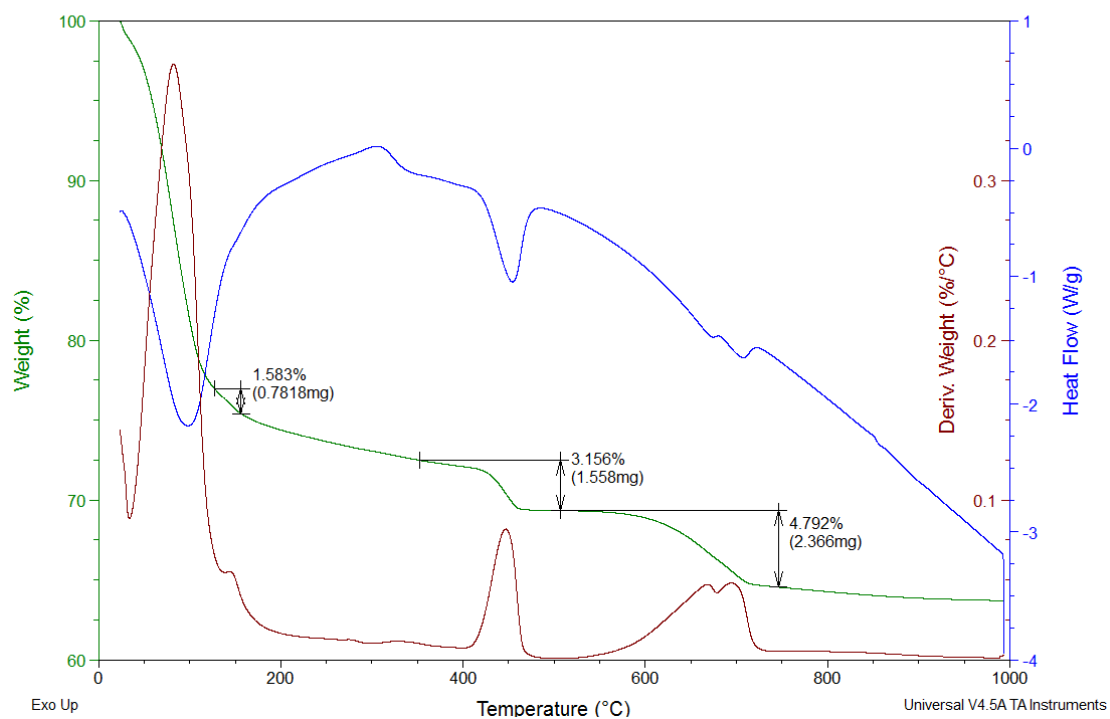
# DSC-TGA

File: C:\...\Bam\_IDOCRETE\_CAL.001

Operator: mec

Run Date: 23-Nov-2016 11:31

Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20

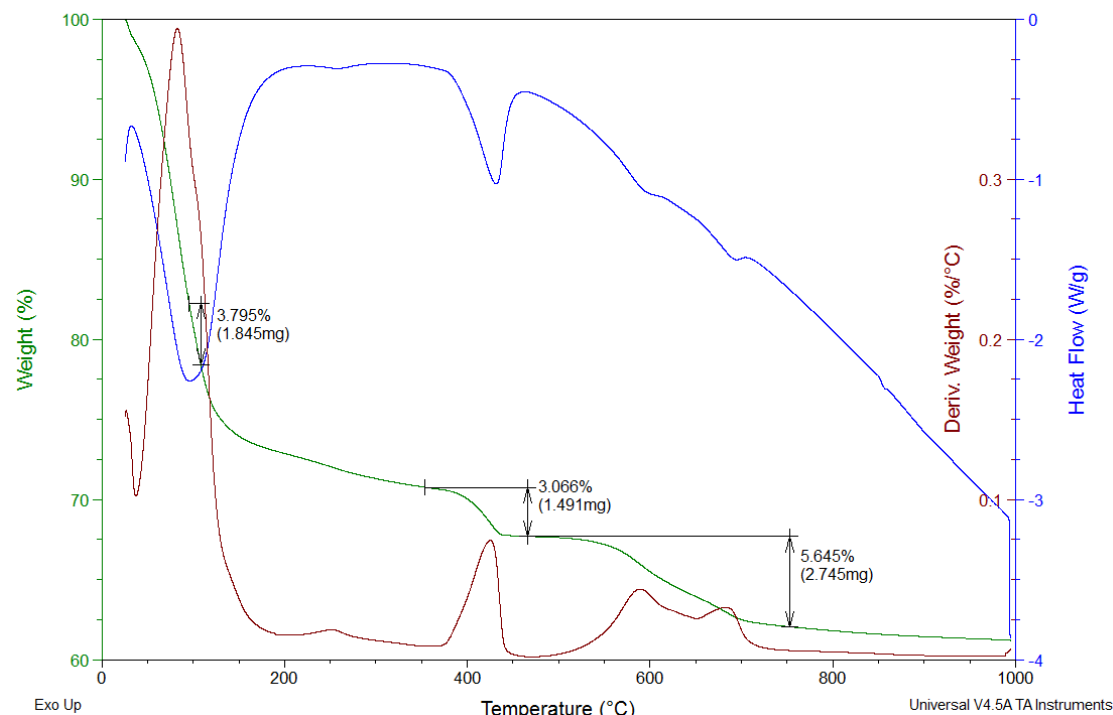


**Obrázek 49: DSC/TG analýza - Idrocrete KR 1000 - po kalorimetru**

Sample: Bam\_AKVAROL\_CAL  
 Size: 48.6200 mg  
 Method: Ramp  
 Comment: Bambuchova AKVAROL po Cal 10C/min, do1000C, air

# DSC-TGA

File: C:\...Bam\_AKVAROL\_CAL.001  
 Operator: mec  
 Run Date: 22-Nov-2016 13:37  
 Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20



**Obrázek 50: DSC/TG analýza - Akvatron 12 - po kalorimetru**

Kalorimetrická analýza 10% koncentrace příměsí s cementem, která byla provedena po analýze měření vývinu hydratačního tepla cementu v kalorimetru DIK 04, neprokázala žádné významnější změny. Všechny vzorky projevily slabou EN reakci při 120 °C, které naznačují slabou dehydroxylaci vzniklých CSH gelů. Příměsí Akvatron 12, Idrocrete KR 1000, Krystol Mix a Xypex Admix C1000 při své 10% koncentraci v kalorimetru DIK 04 zhydratovaly. To se při 450 °C se projevilo rozkladem portlanditu. Sika WT – 200P a Xypex Admix C1000 NF nehydratovaly – což je v případě Xypexu pravděpodobně způsobeno přítomností sádry a anhydritu v příměsí. V závislosti na přítomnosti cementu a vápence v příměsích se při 600 – 850 °C, projevily slabé reakce CSH gelů a jemnozrnného kalcitu.

Z provedených analýz příměsí a jejich vyhodnocení lze usuzovat, že krystalizační příměsí jsou různé směsi cementu, vápence, křemičitých písků a pravděpodobně síranů (sádry, anhydritu, síranu sodného případně uhličitanu sodného), které svým působením v betonu, by měly tvořit gely v pozdější fázi na bázi ettringitu a Ca – křemičitanů a tím zvyšovat trvanlivost betonu. Přítomnost těchto novotvarů v betonu, který byl vyroben za účelem zjištění maximálního průsaku, se ovšem v této práci zvolenými analytickými metodami nepodařilo prokázat.

## Závěr

Cílem diplomové práce bylo v první části shrnutí vlastností betonů používaných pro konstrukce, jež mají vysoké nároky na trvanlivost. Jedním z parametrů trvanlivosti těchto betonů je pak jejich vodotěsnost. Je podán ucelený pohled na betony s deklarovanou hloubkou průsaku tlakovou vodou, jak se vodotěsnost specifikuje a zkouší. Zároveň je zpracována rešerše komerčních přípravků – krystalizačních příměsí, které se v dnešní době mohou používat jako přípravek do čerstvého betonu, jež má působit zvýšení trvanlivosti ztvrdlého betonu cílenou tvorbou krystalických novotvarů. V experimentální části byla vytvořena metodika ověření působení těchto krystalizačních příměsí.

Nejvyšší spolehlivost vyrobených vzorků se při zvolené metodice projevila u betonů bez přidané krystalizační příměsi. Krystalizační příměsi sice v delším časovém intervalu snižovaly hloubku průsaku tlakovou vodou, ovšem maximální průsak byl stále vyšší než u referenční sady vzorků (případně srovnatelný s referenční sadou). Pravděpodobně by mohlo docházet k dalšímu snižování hloubky průsaku u betonů s přidanou krystalizační příměsí. Pokud je ovšem možné vyrobit beton dostatečně vodotěsný i bez krystalizace, a to v kratším časovém úseku, je její přidání nadbytečné i ekonomicky nákladné.

Pokud se zaměříme pouze na vzorky s krystalizační příměsí, zde došlo k nejvýraznějšímu snížení hloubky průsaku u příměsí Idrokrete KR 1000, Akvatron 12 a Xypex Admix C1000. Zvolená metodika vysušování – uložení do vody, dokázala podpořit vyhojování vzhledem k průsaku v řádu desítky milimetrů. Nejhuře pak dopadly vzorky s příměsí Sika WT – 200P a Conseal Admix Liquid. U těchto těles docházelo k bočním průsakům a maximální hloubka průsaku se fakticky nijak nezměnila.

Přítomnost novotvořených gelů, které by měly vznikat při použití krystalizačních příměsí, se zvolenými analytickými metodami nepodařilo prokázat. Důvodem je především jejich velmi nízká koncentrace v betonu a neúplně krystalická struktura. Pokud bychom měli zájem dokázat vznik novotvarů, muselo by se přistoupit k připravení speciálních preparátů pouze na bázi cementu s vysokými dávkami krystalizačních příměsí – vyššími, než doporučují jejich výrobci.

Analýzy krystalizačních příměsí ukázaly, že jednotlivé příměsi jsou různé směsi cementu, vápence, křemičitého písku a často síranu (sádry, anhydritu, uhličitanu sodného, případně

síranu sodného). Takovéto příměsi by pak mohly vytvářet v betonu novotvary na bázi ettringitu a Ca – křemičitanů. Díky nízké koncentraci příměsí se ovšem novotvořené gely v betonovém kompozitu neprokázaly. Vhodnou doplňující metodou by byla zkouška rtuťové porozimetrie, která by mohla identifikovat rozdíl v distribuci a velikosti pórů v cementovém kameni.

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala Ing. Jiřímu Šafratovi, Ph.D. za odborné vedení mé diplomové práce a za umožnění práce v laboratořích Betotech s.r.o. Dále prof. Ing. Petru Martincovi, CSc. za umožnění práce na Ústavu Geoniky AV ČR, v.v.i. a za pomoc při vyhodnocování analýz. Nakonec Ing. Pavlu Mecovi za provedení a cenné rady při vyhodnocování analýz na Katedře Stavebních hmot a diagnostiky staveb.

## Použitá literatura

- [1] NOVÁK, CSC., Doc. Ing. Jaroslav a Ing. Jiří KOLÍSKO, Ph.D. *Speciální betony*. Praha: CZ SVB, s.r.o., 2001. ISBN 80-238-2678-6.
- [2] COUFAL, Ph.D., Ing. Robert a Ing. Michal ŠTEVULA, Ph.D. Beton pro bílé vany - ucelený koncept nebo zázračný prášek. *Materiály pro stavbu*. 2015, XXI(9), 3.
- [3] AÏTCIN, Pierre-Claude. *Vysokohodnotný beton*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) a Českou betonářskou společnost vydalo Informační centrum ČKAIT, 2005. Betonové stavitelství. ISBN 80-867-6939-9
- [4] *Bílé vany: vodotěsné betonové konstrukce: technická pravidla ČBS 02*. 1. vyd. Praha: ČBS Servis, 2006. ISBN 80-903-8070-0.
- [5] KROPÁČEK, Ing. Michal. *Vliv sekundární krystalizace na vlastnosti betonu*. Ostrava, 2014. Studentská vědecká a odborná činnost. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Jiří Šafrata, PhD.
- [6] DE SCHUTTER, Geert. *Damage to concrete structures*. Boca Raton, FL: Taylor, c2013. ISBN 978-041-5603-881.
- [7] MARTINEC, CSC., Prof. Ing. Petr a Doc. Ing. Jiří ŠČUČKA, Ph.D. *Stavební hmoty 1: Beton* [online]. Ostrava-Poruba, 2013 [cit. 2016-11-03]. Dostupné z: [http://www.stavebniinzenyrstvi.cz/wp-content/uploads/2014/07/Scucka\\_Martinec-SH1-Betony.pdf](http://www.stavebniinzenyrstvi.cz/wp-content/uploads/2014/07/Scucka_Martinec-SH1-Betony.pdf)
- [8] *Příručka technologa: BETON - Suroviny, výroba, vlastnosti*. 2. dopln. vyd. Česká republika: ARTIS, 2005.
- [9] SVOBODA, Luboš, Zdenka BAŽANTOVÁ, Milan MYŠKA, Jaroslav NOVÁK, Zdeněk TOBOLKA, Roman VÁVRA, Alena WIMMROVÁ a Jaroslav VÝBORNÝ. *Stavební hmoty*. 1. české vyd. Bratislava: Jaga, 2004, 471 s. ISBN 80-807-6007-1.
- [10] COLLEPARDI, Mario. *Moderní beton*. 1. vyd. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2009. Betonové stavitelství. ISBN 978-80-87093-75-7.



- [11] ŠKVÁRA, František. Technologie anorganických pojiv I. Praha: VŠCHT, 1994. ISBN 80-708-0212-X.
- [12] COUFAL, Robert, Jan L. VÍTEK a Kristýna CHMELÍKOVÁ. Technologie betonu pro vodonepropustné konstrukce - bílé vany. *Beton: Technologie, konstrukce, sanace*. 2015, (2), 6.
- [13] RAMACHANDRAN, V. S., BEAUDOIN, James J. (ed.). *Handbook of analytical techniques in concrete science and technology: principles, techniques and applications*. Park Ridge, New Jersey: Noyes Publications, 1999. Building materials science series. ISBN 08-155-1437-9.
- [14] *Inorganic Library of FTIR Spectra*. Praha: Nicodom, 1998. ISBN 80-903-7723-8.
- [15] RAMACHANDRAN, V. S. *Handbook of thermal analysis of construction materials*. Norwich, N.Y.: Noyes Publications/William Andrew Pub., c2003. ISBN 08-155-1487-5.

## Normy

- [16] BS EN 934-2:2009. *Admixtures for concrete, mortar and grout: Part 2: Concrete admixtures — Definitions, requirements, conformity, marking and labelling*. United Kingdom: British Standards, May 2009.
- [17] ČSN EN 1008. *Záměsová voda do betonu: Specifikace pro odběr vzorků, zkoušení a posouzení vhodnosti vody, včetně vody získané při recyklaci v betonárně, jako záměsové vody do betonu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Červen 2003.
- [18] ČSN EN 934-2. *Přísady do betonu, malty a injektážní malty - Část 2: Přísady do betonu - Definice, požadavky, shoda, označování a značení štítkem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Leden 2010 (neplatná od 1.1.2013).
- [19] ČSN EN 12390-8. *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Říjen 2009.
- [20] ČSN EN 12350-2. *Zkoušení čerstvého betonu - Část 2: Zkouška sednutím*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Listopad 2009.

- [21] ČSN EN 196 – 1. *Metody zkoušení cementu. Část 1: Stanovení pevnosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Listopad 2016.
- [22] ČSN EN 480-1+A1. *Přísady do betonu, malty a injektážní malty - Zkušební metody - Část 1: Referenční beton a referenční malta pro zkoušení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Květen 2015.
- [23] ČSN EN 1015-3. *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střešacího stolku)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Duben 2000.
- [24] ČSN EN 480-5. *Přísady do betonu, malty a injektážní malty - Zkušební metody - Část 5: Stanovení kapilární absorpce*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006.
- [25] ČSN EN 206-1. *Beton: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Srpen 2014.
- [26] ČSN 73 1321. *Stanovení vodotěsnosti betonu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Říjen 1988. (neplatná od listopadu 2003)
- [27] ČSN 72 1179. *Stanovení reaktivnosti kameniva s alkáliemi*. Československá státní norma: Úřad pro normalizaci a měření, Srpen 1968.
- [28] ČSN EN 1367-2. *Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání: Část 2: Zkouška síranem hořečnatým*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Červen 2010.
- [29] ONR 23303. *Prüfverfahren Beton (PVB): Nationale Anwendung der Prüfnormen für Beton und seiner Ausgangsstoffe*. Austria, Marz 2010.
- [30] ČSN EN 933-1. *Zkoušení geometrických vlastností kameniva: Část 1: Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Červenec 2012.
- [31] ČSN EN 12390-7. *Zkoušení ztvrdlého betonu: Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Listopad 2009.

[32] ČSN EN 12350-6. *Zkoušení čerstvého betonu: Část 6: Objemová hmotnost*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Listopad 2009.

[40] ČSN P 73 2404. *Beton: specifikace, vlastnosti, výroba a shoda - Doplnující informace*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Únor 2016.

### **Elektronické odkazy**

[33] Spektrometr XL3T GOLDD. *HUKOS* [online]. Ostrava-Hrabová [cit. 2016-11-11]. Dostupné z: <http://www.hukos.cz/spektrometry/xl3t-goldd>

[34] Rentgenofluorescenční analýza: XRF. In: *ENPEDIE* [online]. 2013 [cit. 2016-11-11]. Dostupné z: [http://enpedie.cz/wiki/Rentgenofluorescenční\\_analýza\\_\(XRF\)](http://enpedie.cz/wiki/Rentgenofluorescenční_analýza_(XRF))

[35] Křížové plechy ASS na řízené spáry a pracovní spáry ABS. In: *ŽELEX* [online]. 2010 [cit. 2016-11-14]. Dostupné z: <http://www.kotaca.cz/podrubrika.php?ID=18>

[36] Q600 SDT. In: *TA Instruments* [online]. New Castle [cit. 2016-11-17]. Dostupné z: <http://www.tainstruments.com/q600/>

[37] *Principy FT-IR měření* [online]. In: . [cit. 2016-11-19]. Dostupné z: <http://www.sci.muni.cz/chemsekcetgir/princip.pdf>

[38] *Infračervená spektroskopie* [online]. In: . [cit. 2016-11-19]. Dostupné z: <http://old.vscht.cz/lms/Zverze/Infrared.htm>

[39] COUFAL, Ph.D., Ing. Robert a Ing. Vladimír VESELÝ. *Vodonepropustné betony - PERMACRETE* [online]. In: . 2012, s. 15 [cit. 2016-09-04]. Dostupné z: <http://www.betonuniversity.cz/3-rocnik/seminare/vodotesne-betony-0#prezentace>

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Hydratace cementových zrn v závislosti na w/c [9] .....	19
Obrázek 2: Chlazení čerstvé betonové směsi tekutým dusíkem [39].....	21
Obrázek 3: Těsnění pracovní spáry a řízené trhliny [35] .....	22
Obrázek 4: Použité zařízení pro zkoušku V5 .....	46
Obrázek 5: Rozlomení tělesa po zkoušce V5 .....	47
Obrázek 6: Zaznačení hranice průsaku vzniklého tlakovou vodou.....	47
Obrázek 7: Uložení trámeček pro zkoušku kapilární absorpce.....	50
Obrázek 8: Stráscací stůl FORM+TEST .....	52
Obrázek 9: Spektrometr XL3T GOLDD [33] .....	53
Obrázek 10: Interferogram - Spektrální záznam .....	55
Obrázek 11: V5 – Vzorek I5 – boční průsak.....	60
Obrázek 12: Vzorek S4 - boční průsak .....	62
Obrázek 13: Vzorek S4 - boční průsak .....	62
Obrázek 14: Odebrané segmenty o šířce 20 mm.....	73
Obrázek 15: Odebrání vzorku cementového kamene.....	73
Obrázek 16: Ručně odebrané zrna cementového kamene.....	73
Obrázek 17: Tření na zrnitost pod 5 $\mu\text{m}$ v achátové misce.....	73
Obrázek 18: IČ spektrum, vzorek 15 932L – S4.....	74
Obrázek 19: DSC/TG analýza, vzorek 15 932L - S4.....	75
Obrázek 20: Binokulární mikroskopie, vzorek 15 932L –S4.....	81
Obrázek 21: Binokulární mikroskopie, vzorek 15 934L - A4.....	82
Obrázek 22: Binokulární mikroskopie, vzorek 15 936L – S1.....	83
Obrázek 23: Binokulární mikroskopie, vzorek 15 937L – R1 .....	84
Obrázek 24: Binokulární mikroskop, vzorek 15 938L – R4.....	85
Obrázek 25: Bipolární mikroskopie, vzorek 15 939L - A1.....	86
Obrázek 26: Bipolární mikroskopie, vzorek 15 940L - I4 .....	87
Obrázek 27: Optická polarizační mikroskopie, vzorek 15 940L - 1 - I4 .....	88
Obrázek 28: Optická polarizační mikroskopie, vzorek 15 940L - 2 – I4.....	89
Obrázek 29: Optická polarizační mikroskopie, vzorek 15 940L - 3 – I4.....	90
Obrázek 30: Optická polarizační mikroskopie, vzorek 15 940L - 4 - I4 .....	91
Obrázek 31: Optická polarizační mikroskopie, vzorek 15 940L - 5 - I4 .....	92

Obrázek 32: Optická polarizační mikroskopie, vzorek 15 940 L - 6 - I4 .....	93
Obrázek 33: Konfokální mikroskopie, vzorek 15 932L - S4 .....	94
Obrázek 34: Konfokální mikroskopie, vzorek 15 934L - A4 .....	95
Obrázek 35: Konfokální mikroskopie, vzorek 15 936L - S1 .....	96
Obrázek 36: Konfokální mikroskopie, vzorek 15 937L - R1 .....	97
Obrázek 37: Konfokální mikroskopie, vzorek 15 938L - R4 .....	98
Obrázek 38: Konfokální mikroskopie, vzorek 15 939L - A1 .....	99
Obrázek 39: Konfokální mikroskopie, vzorek 15 940L - 1 – I4 .....	100
Obrázek 40: Konfokální mikroskopie, vzorek 15 940L - 2 - I4 .....	101
Obrázek 41: DSC/TG analýza - Idrocrete KR 1000 .....	103
Obrázek 42: DSC/TG analýza - Akvatron 12 .....	104
Obrázek 43: DSC/TG analýza - Xypex Admix C 1000 NF .....	104
Obrázek 44: DSC/TG analýza - Xypex Admix C 1000 .....	105
Obrázek 45: DSC/TG analýza - Krystol Mix .....	105
Obrázek 46: DSC/TG analýza - Sika WT-200P .....	106
Obrázek 47: Difraktogram - Akvatron 12 .....	109
Obrázek 48: DSC/TG analýza - Idrocrete KR 1000 - po kalorimetru .....	111
Obrázek 49: DSC/TG analýza - Akvatron 12 - po kalorimetru .....	112

## Seznam tabulek

Tab. 1: Slínkové minerály .....	16
Tab. 2: Přehled krystalizačních přísad v ČR.....	24
Tab. 3: Technická data Idrocrete KR 1000 .....	25
Tab. 4: Charakteristiky vyrobeného betonu .....	26
Tab. 5: Technická data Akvatron 12 .....	27
Tab. 6: Technická data Krystol Mix.....	28
Tab. 7: Technická data Sika WT – 200P .....	29
Tab. 8: Technická data Conseal Admix Liquid.....	30
Tab. 9: Technická data Xypex Admix C - 1000 (NF).....	31
Tab. 10: Použité krystalizační přísady .....	32
Tab. 11: Vybrání zkušebních vzorků .....	33
Tab. 12: Základní charakteristiky CEM I 42,5 R.....	36
Tab. 13: Použité kamenivo.....	37
Tab. 14: Technické údaje superplastifikátoru G665 .....	37
Tab. 15: Technické údaje superplastifikátoru Sika Viscocrete 4088 .....	38
Tab. 16: Receptura 1. záměsi .....	39
Tab. 17: Receptura 2. záměsi .....	40
Tab. 18: Návrh receptury referenčního betonu C25/30 XC4 .....	40
Tab. 19: Množství použité přísady.....	41
Tab. 20: Označení vzorků pro zkoušku vodotěsnosti .....	43
Tab. 21: Zkouška sednutím (Slump test) .....	45
Tab. 22: Receptura referenční malty .....	49
Tab. 23: Výsledky zkoušky sednutím .....	56
Tab. 24: Objemová hmotnost čerstvého betonu .....	57
Tab. 25: Objemová hmotnost ztuhlého betonu .....	58
Tab. 26: Ceny krystalizačních přísad (listopad 2016).....	66
Tab. 27: Množství krystalizačních přísad v maltě pro zjištění kapilární absorpce.....	68
Tab. 28: Kapilární absorpce .....	69
Tab. 29: Konzistence čerstvé malty .....	71
Tab. 30: Báze krystalizačních přísad .....	76
Tab. 31: Vzorky použité pro analýzu cementového kamene .....	77

Tab. 32: Spektrometr krystalizačních příměsí.....	102
Tab. 33: RTG práškový difraktometr - krystalizační příměsi .....	108

## Seznam grafů

Graf 1: Referenční záměs - Maximální hloubka průsaku tlakovou vodou .....	59
Graf 2: Idrocrete KR 1000 - Maximální hloubka průsaku tlakovou vodou .....	60
Graf 3: Akvatron 12 – Maximální hloubka průsaku tlakovou vodou .....	61
Graf 4: Sika WT - 200P - Maximální hloubka průsaku tlakovou vodou .....	61
Graf 5: Průsak vzorku S4 .....	62
Graf 6: Conseal Admix Liquid - Maximální hloubka průsaku tlakovou vodou .....	63
Graf 7: Průsak vzorku C4.....	63
Graf 8: Xypex Admix C1000 NF - Maximální hloubka průsaku tlakovou vodou .....	64
Graf 9: Xypex Admix C1000 - Maximální hloubka průsaku tlakovou vodou.....	64
Graf 10: Průměrná hloubka průsaku .....	65
Graf 11: Průměrná kapilární absorpce.....	70
Graf 12: Průměrná hmotnost přijaté vody .....	70
Graf 13: Průměrné rozlití čerstvé malty [mm] .....	72



## Seznam příloh

Příloha A: Technické listy krystalizačních příměsí v pořadí

- Idrocrete KR 1000
- Akvatron 12
- Sika WT – 200P
- Xypex Admix C 1000 (NF)
- Krystol Mix
- Conseal Admix Liquid

Příloha B: Bezpečnostní listy krystalizačních příměsí v pořadí

- Idrocrete KR 1000
- Akvatron 12
- Sika WT – 200P
- Xypex Admix C 1000 (NF)
- Krystol Mix
- Conseal Admix Liquid

Příloha 1: Referenční sada, Objemová hmotnost čerstvého betonu

Příloha 2: Akvatron 12, Objemová hmotnost čerstvého betonu

Příloha 3: Xypex Admix C1000 NF, Objemová hmotnost čerstvého betonu

Příloha 4: Xypex Admix C1000, Objemová hmotnost čerstvého betonu

Příloha 5: Sika WT - 200 P, Objemová hmotnost čerstvého betonu

Příloha 6: Conseal Admix Liquid, Objemová hmotnost čerstvého betonu

Příloha 7: Idrocrete KR 1000, Objemová hmotnost čerstvého betonu

Příloha 8: Referenční záměs, Objemová hmotnost ztvrdlého betonu

Příloha 9: Idrocrete KR 1000, Objemová hmotnost ztvrdlého betonu

Příloha 10: Sika WT-200P, Objemová hmotnost ztvrdlého betonu

Příloha 11: Akvatron 12, Objemová hmotnost ztvrdlého betonu

Příloha 12: Conseal Admix Liquid, Objemová hmotnost ztvrdlého betonu

Příloha 13: Xypex Admix C1000 NF, Objemová hmotnost ztvrdlého betonu

Příloha 14: Xypex Admix C1000, Objemová hmotnost ztvrdlého betonu

Příloha 15: Průsak tlakovou vodou, R1 - R3

Příloha 16: Průsak tlakovou vodou, R4 - R6

Příloha 17: Průsak tlakovou vodou, I1 - I3

Příloha 18: Průsak tlakovou vodou I4 - I6

Příloha 19: Průsak tlakovou vodou, A1 - A3

Příloha 20: Průsak tlakovou vodou, A4 - A6

Příloha 21: Průsak tlakovou, S1 - S3

Příloha 22: Průsak tlakovou vodou S4 - S6

Příloha 23: Průsak tlakovou vodou, C1 - C3

Příloha 24: Průsak tlakovou vodou, C4 - C6

Příloha 25: Průsak tlakovou vodou NF1 - NF3

Příloha 26: Průsak tlakovou vodou NF4 - NF6

Příloha 27: Průsak Tlakovou vodou C10001 - C10003

Příloha 28: Průsak tlakovou vodou C10004 - C10006

Příloha 29: Hmotnosti trámečků ve zkušebních 1, 7 a 14 denních intervalech

Příloha 30: Kapilární absorpce trámečků po 1, 7 a 14 dnech

Příloha 31: IČ spektrum, vzorek 15 936L - S1

Příloha 32: IČ spektrum, vzorek 15 939L- A1

Příloha 33: IČ spektrum, vzorek 15 934L – A4

Příloha 34: IČ spektrum, vzorek 15 937L - R1

Příloha 35: IČ spektrum vzorek 15 930 - R4

Příloha 36: DSC/TG analýza, vzorek 15 934L - A4

Příloha 37: DSC/TG analýza, vzorek 15 936 L - S1

Příloha 38: DSC/TG analýza, vzorek 15 937L - R1

Příloha 39: DSC/TG analýza, vzorek 15 938 L - R4

Příloha 40: IČ spektrum 15 932L - S4 - po HCl

Příloha 41: IČ spektrum - vzorek 15 936L - S1 - po HCl

Příloha 42: Spektrometr - krystalizační příměsi

Příloha 43: Difraktogram - Idrocrete KR 1000

Příloha 44: Difraktogram - Krystol Mix

Příloha 45: Difraktogram - Sika WT - 200P

Příloha 46: Difraktogram - Xypex Admix C1000

Příloha 47: Difraktogram - Xypex Admix C 1000 NF

Příloha 48: DSC/TG analýza - Xypex Admix C1000 NF - po kalorimetru

Příloha 49: DSC/TG analýza - Xypex Admix C1000 - po kalorimetru

Příloha 50: DSC/TG analýza - Krystol Mix - po kalorimetru

Příloha 51: DSC/TG analýza - Sika WT-200P - po kalorimetru

## **Příloha A**

## **Příloha B**

## Přílohy

**Příloha 1: Referenční sada, Objemová hmotnost čerstvého betonu**

Vzorek	Délka [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]	Objem [m <sup>3</sup> ]	Hmotnost [kg]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Průměrná objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
Čerstvá směs	150,00	150,00	150,00	0,0034	7,853	2327	2330
Čerstvá směs	150,00	150,00	150,00	0,0034	7,801	2311	
Čerstvá směs	150,00	150,00	150,00	0,0034	7,904	2342	

**Příloha 2: Akvatron 12, Objemová hmotnost čerstvého betonu**

Vzorek	Délka [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]	Objem [m <sup>3</sup> ]	Hmotnost [kg]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Průměrná objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
Čerstvá směs	150,00	150,00	150,00	0,0034	7,944	2354	2360
Čerstvá směs	150,00	150,00	150,00	0,0034	7,972	2362	
Čerstvá směs	150,00	150,00	150,00	0,0034	7,953	2356	

**Příloha 3: Xypex Admix C1000 NF, Objemová hmotnost čerstvého betonu**

Vzorek	Délka [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]	Objem [m <sup>3</sup> ]	Hmotnost [kg]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Průměrná objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
Čerstvá směs	150,00	150,00	150,00	0,0034	7,869	2332	2320
Čerstvá směs	150,00	150,00	150,00	0,0034	7,744	2295	
Čerstvá směs	150,00	150,00	150,00	0,0034	7,892	2338	

**Příloha 4: Xypex Admix C1000, Objemová hmotnost čerstvého betonu**

Vzorek	Délka [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]	Objem [m <sup>3</sup> ]	Hmotnost [kg]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Průměrná objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
Čerstvá směs	150,00	150,00	150,00	0,0034	7,838	2322	2340
Čerstvá směs	150,00	150,00	150,00	0,0034	7,848	2325	
Čerstvá směs	150,00	150,00	150,00	0,0034	7,961	2359	

**Příloha 5: Sika WT - 200 P, Objemová hmotnost čerstvého betonu**

Vzorek	Délka [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]	Objem [m <sup>3</sup> ]	Hmotnost [kg]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Průměrná objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
Čerstvá směs	150,00	150,00	150,00	0,0034	8,040	2382	2390
Čerstvá směs	150,00	150,00	150,00	0,0034	8,190	2427	
Čerstvá směs	150,00	150,00	150,00	0,0034	8,000	2370	

**Příloha 6: Conseal Admix Liquid, Objemová hmotnost čerstvého betonu**

Vzorek	Délka [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]	Objem [m <sup>3</sup> ]	Hmotnost [kg]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Průměrná objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
Čerstvá směs	150,00	150,00	150,00	0,0034	7,939	2352	2340
Čerstvá směs	150,00	150,00	150,00	0,0034	7,941	2353	
Čerstvá směs	150,00	150,00	150,00	0,0034	7,788	2308	

**Příloha 7: Idrocrete KR 1000, Objemová hmotnost čerstvého betonu**

Vzorek	Délka [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]	Objem [m <sup>3</sup> ]	Hmotnost [kg]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Průměrná objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
Čerstvá směs	150,00	150,00	150,00	0,00338	7,933	2351	2350
Čerstvá směs	150,00	150,00	150,00	0,00338	7,970	2361	
Čerstvá směs	150,00	150,00	150,00	0,00338	7,930	2350	

**Příloha 8: Referenční záměs, Objemová hmotnost ztvrdlého betonu**

Druh příměsi	Označení vzorků	Stáří vzorku	Výška [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]	Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
Referenční záměs	R1	28 dní	149,85	149,71	150,28	7,721	2290
	R2	31 dní	149,73	148,74	149,50	7,813	2350
	R3	41 dní	149,61	151,36	149,67	8,014	2360
	R4	28 dní	149,97	149,95	150,17	7,908	2340
	R5	31 dní	150,48	149,62	150,38	7,919	2340
	R6	41 dní	149,22	150,84	152,28	7,900	2300

**Příloha 9: Idrocrete KR 1000, Objemová hmotnost ztvrdlého betonu**

Druh příměsi	Označení vzorků	Stáří vzorku	Výška [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]	Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
Idrocrete KR1000	I1	28 dní	149,64	150,55	150,95	7,922	2330
	I2	31 dní	149,50	151,57	149,69	8,069	2380
	I3	41 dní	150,60	152,84	151,43	8,132	2330
	I4	28 dní	149,45	150,00	149,57	7,966	2380
	I5	31 dní	150,80	151,83	150,37	7,927	2300
	I6	41 dní	150,36	151,82	150,00	7,895	2310



**Příloha 10: Sika WT-200P, Objemová hmotnost ztvrdlého betonu**

Druh příměsi	Označení vzorků	Stáří vzorku	Výška [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]	Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
Sika WT-200 P	S1	28 dní	149,93	149,88	150,29	7,972	2360
	S2	31 dní	150,02	150,38	149,80	7,984	2360
	S3	41 dní	151,38	150,28	149,97	8,020	2350
	S4	28 dní	150,09	148,26	150,16	7,856	2350
	S5	31 dní	151,20	151,20	150,02	7,884	2300
	S6	41 dní	149,41	148,02	150,30	7,914	2380

**Příloha 11: Akvatron 12, Objemová hmotnost ztvrdlého betonu**

Druh příměsi	Označení vzorků	Stáří vzorku	Výška [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]	Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
Akvatron 12	A1	28 dní	149,91	150,54	151,27	8,098	2370
	A2	31 dní	149,63	151,08	149,56	7,958	2350
	A3	41 dní	150,12	151,50	150,66	7,891	2300
	A4	28 dní	149,28	150,70	150,41	7,949	2350
	A5	31 dní	153,37	150,87	150,46	8,103	2330
	A6	41 dní	150,59	150,15	150,33	7,930	2330

**Příloha 12: Conseal Admix Liquid, Objemová hmotnost ztvrdlého betonu**

Druh příměsi	Označení vzorků	Stáří vzorku	Výška [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]	Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
Conseal Admix Liquid	C1	28 dní	149,30	150,01	150,95	7,957	2350
	C2	31 dní	149,51	148,85	149,96	7,958	2380
	C3	41 dní	150,64	149,56	150,36	7,923	2340
	C4	28 dní	149,41	151,57	150,08	7,937	2340
	C5	31 dní	151,97	150,04	150,51	7,771	2260
	C6	41 dní	149,20	149,60	149,53	7,918	2370

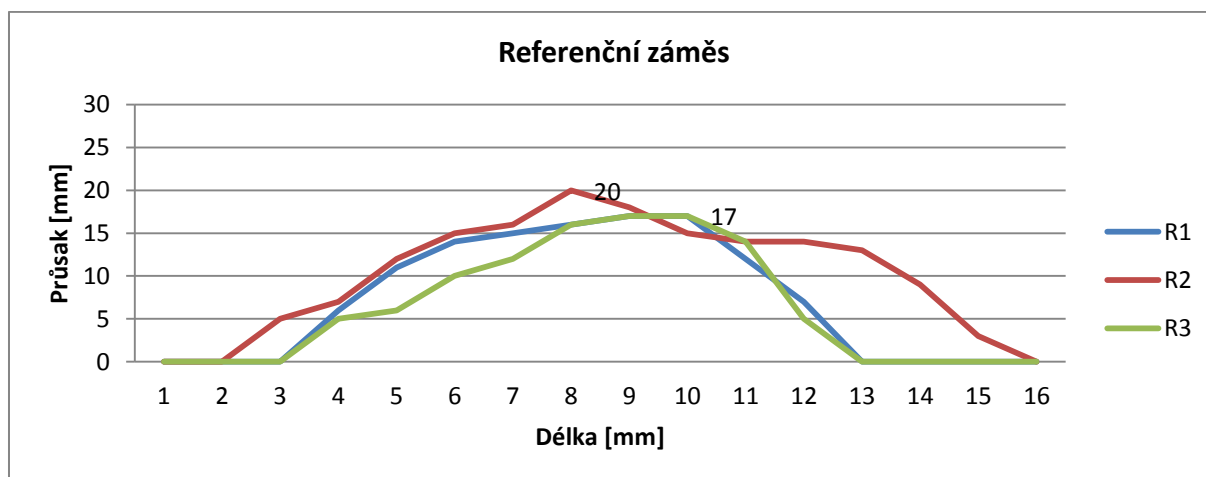
**Příloha 13: Xypex Admix C1000 NF, Objemová hmotnost ztvrdlého betonu**

Druh příměsi	Označení vzorků	Stáří vzorku	Výška [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]	Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
Xypex Admix C1000 NF	NF1	28 dní	149,48	149,27	150,98	7,853	2330
	NF2	31 dní	149,46	150,94	149,54	7,882	2340
	NF3	48 dní	150,64	150,92	149,57	7,897	2320
	NF4	28 dní	148,50	150,30	150,96	7,873	2340
	NF5	31 dní	152,10	150,95	149,92	8,022	2330
	NF6	48 dní	150,81	150,36	150,57	8,009	2350

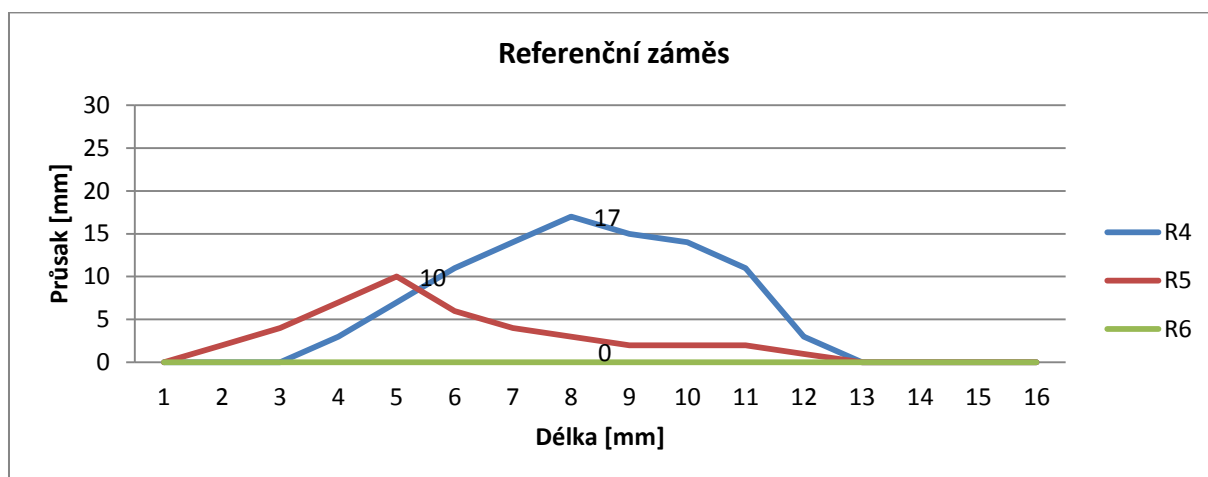
**Příloha 14: Xypex Admix C1000, Objemová hmotnost ztvrdlého betonu**

Druh příměsi	Označení vzorků	Stáří vzorku	Výška [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]	Váha [kg]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
Xypex Admix C1000	C10001	28 dní	149,56	149,26	150,27	7,823	2330
	C10002	31 dní	149,88	149,89	149,77	7,994	2380
	C10003	48 dní	149,82	150,06	149,53	7,903	2330
	C10004	28 dní	149,48	147,92	150,98	7,853	2350
	C10005	31 dní	148,41	150,94	149,54	7,880	2350
	C10006	48 dní	150,10	149,80	150,24	7,890	2340

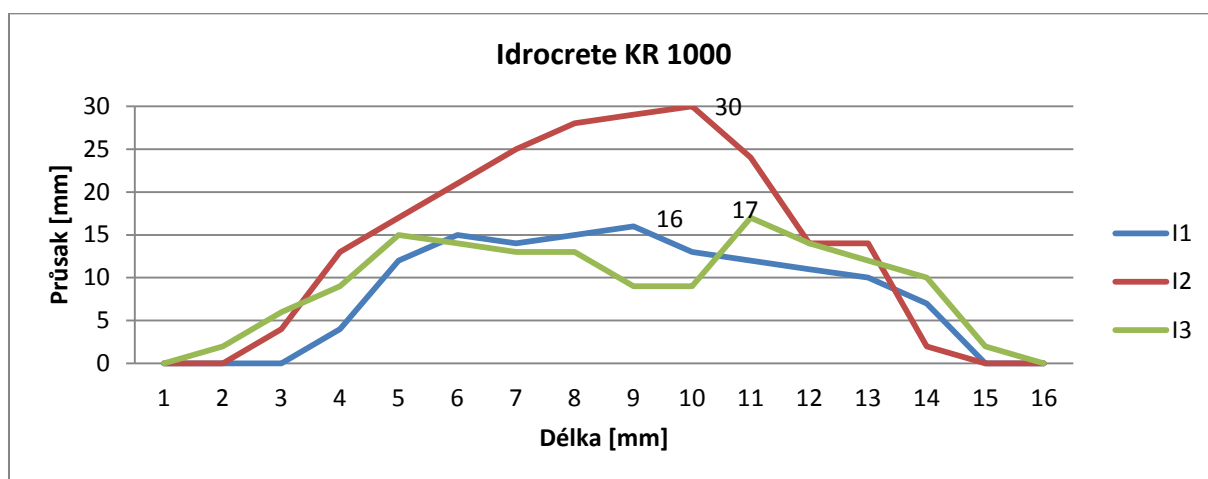
**Příloha 15: Průsak tlakovou vodou, R1 - R3**



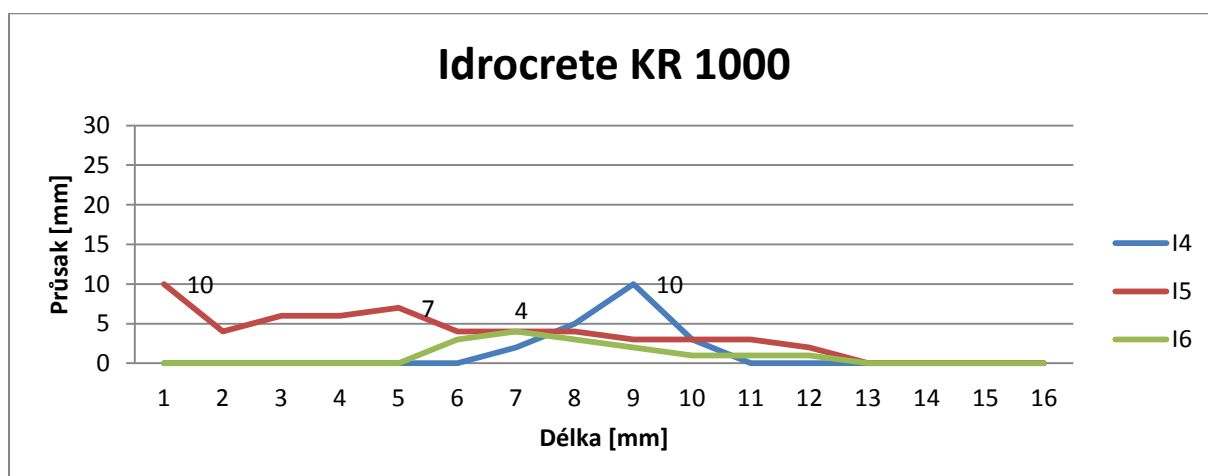
**Příloha 16: Průsak tlakovou vodou, R4 - R6**



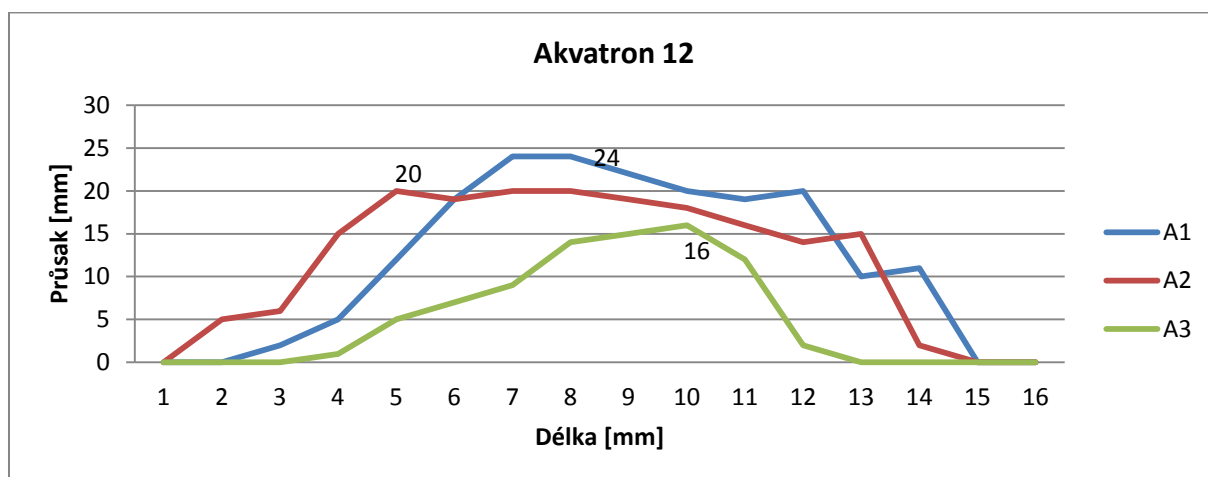
**Příloha 17: Průsak tlakovou vodou, I1 - I3**



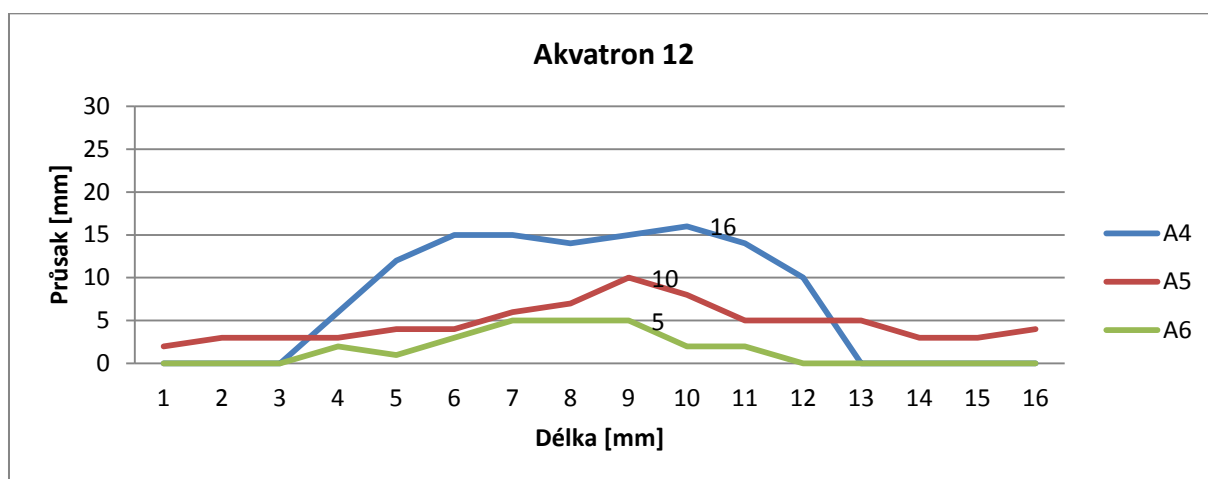
**Příloha 18: Průsak tlakovou vodou I4 - I6**



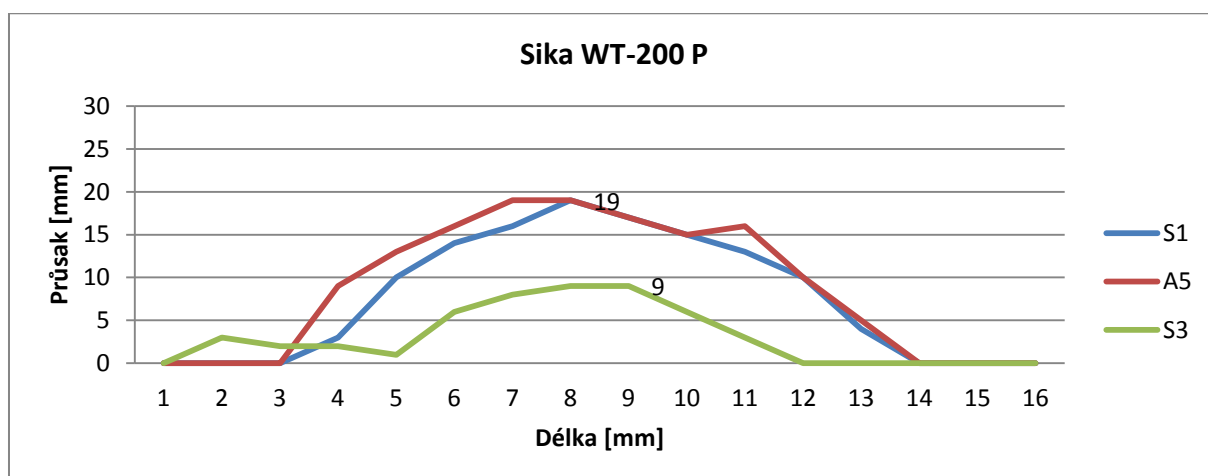
**Příloha 19: Průsak tlakovou vodou, A1 - A3**



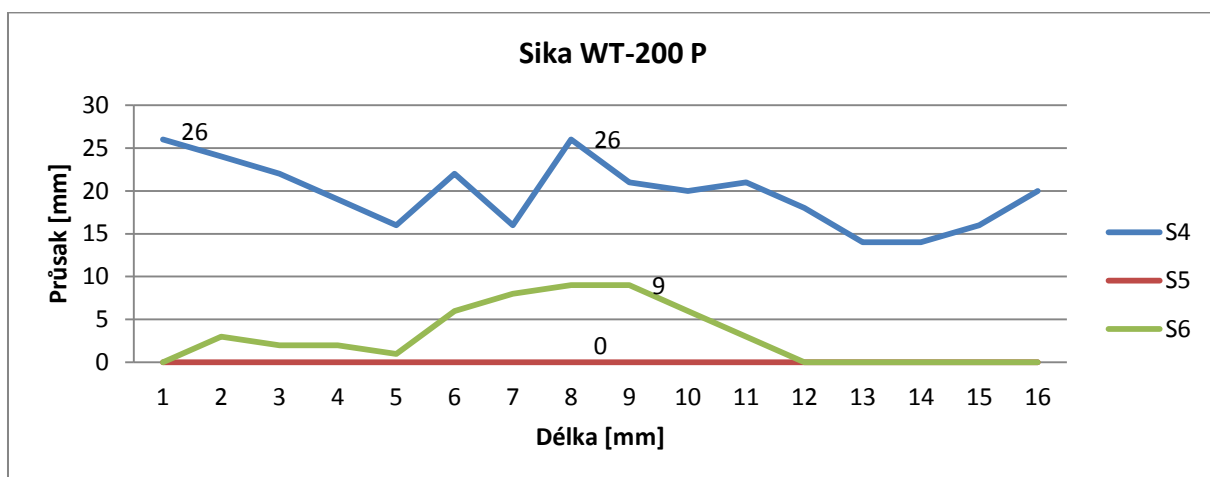
**Příloha 20: Průsak tlakovou vodu, A4 - A6**



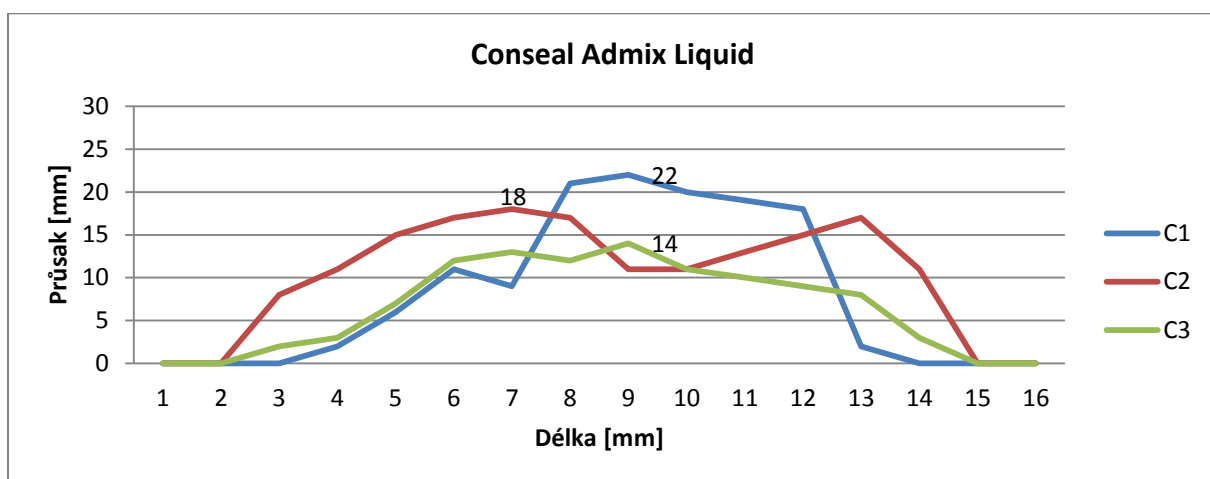
**Příloha 21: Průsak tlakovou, S1 - S3**



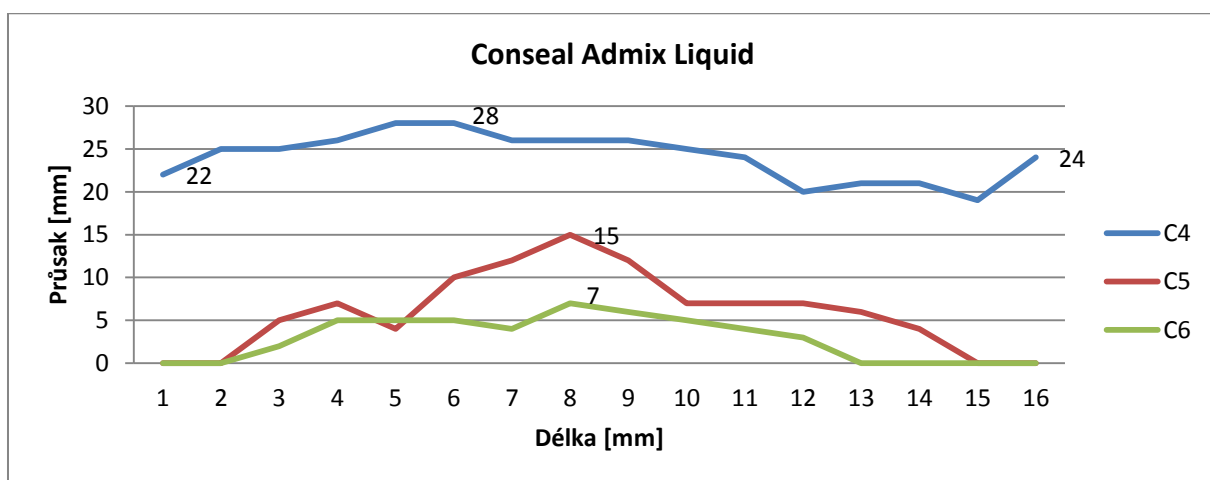
**Příloha 22: Průsak tlakovou vodou S4 - S6**



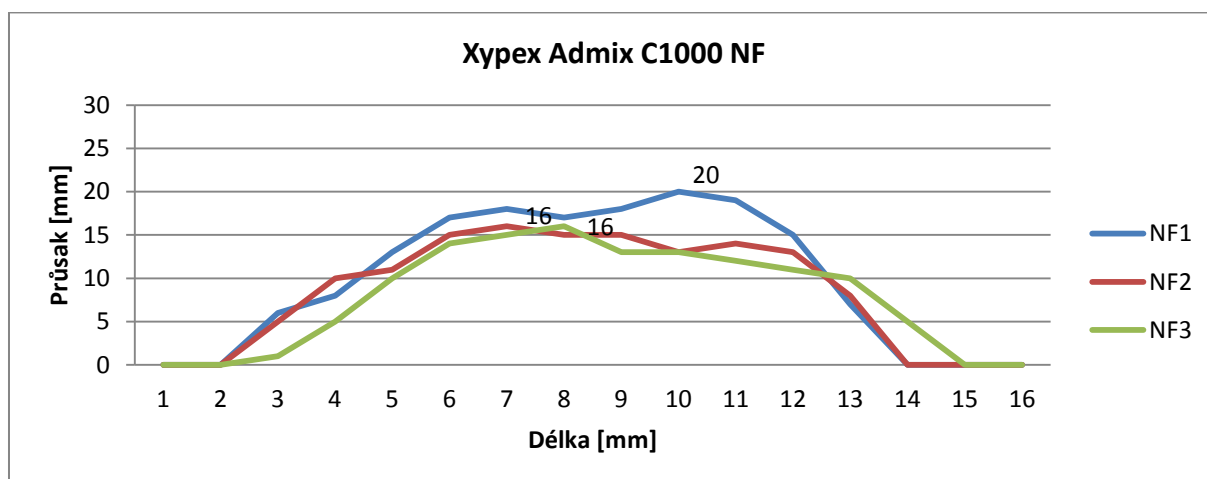
**Příloha 23: Průsak tlakovou vodou, C1 - C3**



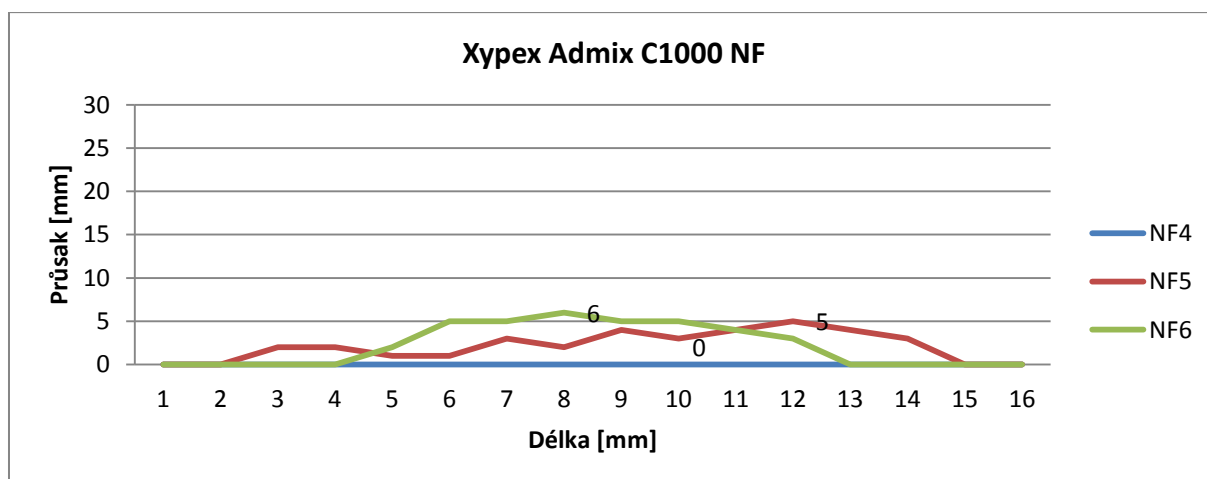
**Příloha 24: Průsak tlakovou vodou, C4 - C6**



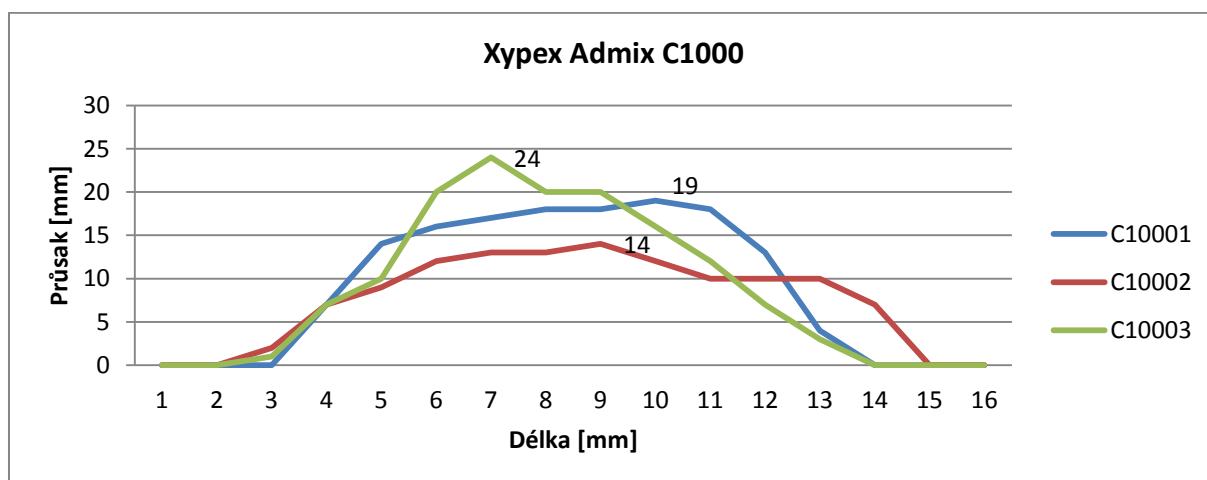
**Příloha 25: Průsak tlakovou vodou NF1 - NF3**



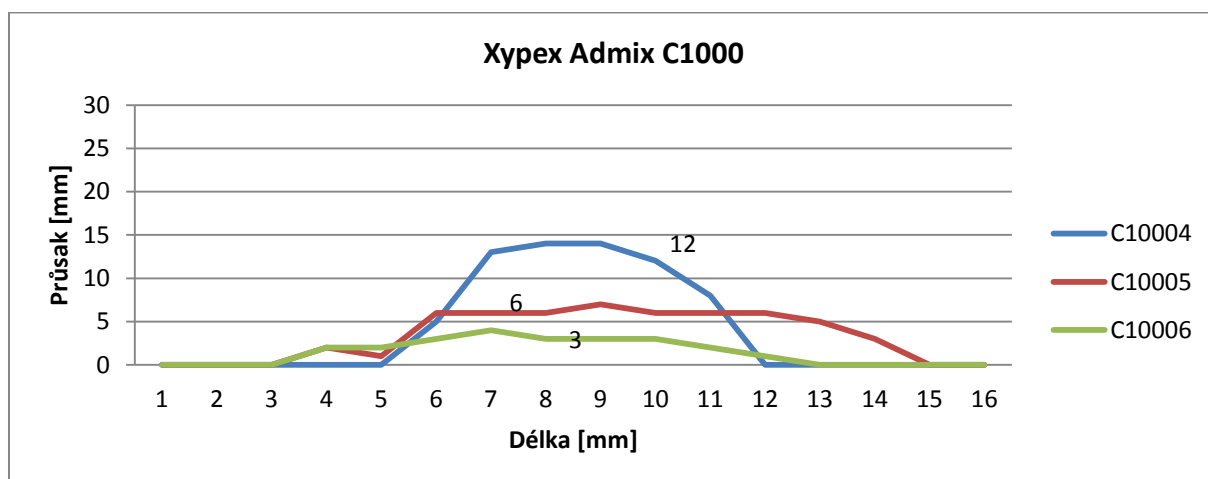
**Příloha 26: Průsak tlakovou vodou NF4 - NF6**



**Příloha 27: Průsak Tlakovou vodou C10001 - C10003**



# **Příloha 28: Průsak tlakovou vodou C10004 - C10006**





**Příloha 29: Hmotnosti trámečků ve zkušebních 1, 7 a 14 denních intervalech**

<b>Druh příměsi</b>	<b>Označení trámečku</b>	<b>Hmotnost po odformování [g]</b>	<b>Po 7 dnech uložení ve vlhk. komoře M<sub>0</sub> [g]</b>	<b>Po 1 dni uložení svisle 3 mm ve vodě M<sub>1</sub> [g]</b>	<b>Po 7 dnech uložení svisle 3 mm ve vodě M<sub>7</sub> [g]</b>	<b>Po 14 dnech uložení svisle 3 mm ve vodě M<sub>14</sub> [g]</b>
Referenční záměs	R1	579,2	582,2	582,9	583,1	583,5
	R2	587,2	588,1	588,6	589,0	589,5
	R3	578,4	578,7	579,4	579,6	580,4
	R4	574,0	574,3	574,5	574,9	576,0
	R5	578,3	578,9	580,1	580,5	581,2
	R6	574,6	577,8	577,9	577,9	578,5
Idrocrete KR 1000	I1	576,4	577,1	577,9	578,2	578,9
	I2	579,5	579,9	580,1	580,5	581,9
	I3	576,0	578,8	578,9	580,1	581,2
	I4	583,6	585,2	585,8	585,9	586,9
	I5	586,1	587,3	588,0	588,0	588,9
	I6	585,3	588,8	588,9	590,1	590,7
Akvatron 12	A1	575,9	578,0	578,4	578,5	578,6
	A2	584,6	584,8	585,7	586,3	586,9
	A3	576,3	576,6	577,2	577,8	578,0
	A4	581,4	582,9	584,0	584,8	585,4
	A5	570,4	571,8	572,5	573,0	573,9
	A6	570,8	571,9	573,2	573,6	574,6
Sika WT - 200 P	S1	575,3	576,6	577,5	578,0	578,7
	S3	581,6	582,3	583,1	584,1	585,6
	S3	576,0	577,3	578,0	579,0	579,8
	S4	564,7	564,9	565,0	565,7	566,7
	S5	580,3	580,4	580,9	581,7	583,3
	S6	572,9	576,0	575,7	575,9	577,3
Conseal Admix Liquid	C1	559,7	558,1	560,3	560,9	561,7
	C2	576,9	575,6	576,9	577,7	578,6
	C3	567,6	567,8	568,9	569,8	570,4
	C4	548,2	548,1	549,5	550,1	551,0
	C5	556,4	555,9	556,7	557,7	558,7
	C6	551,7	551,6	553,5	554,4	555,7
Xypex NF	NF1	560,7	561,2	562,9	564,0	564,3
	NF2	573,5	573,8	575,0	576,2	576,5
	NF3	580,9	580,8	581,4	582,7	583,5
	NF4	562,5	562,7	563,3	564,7	565,4

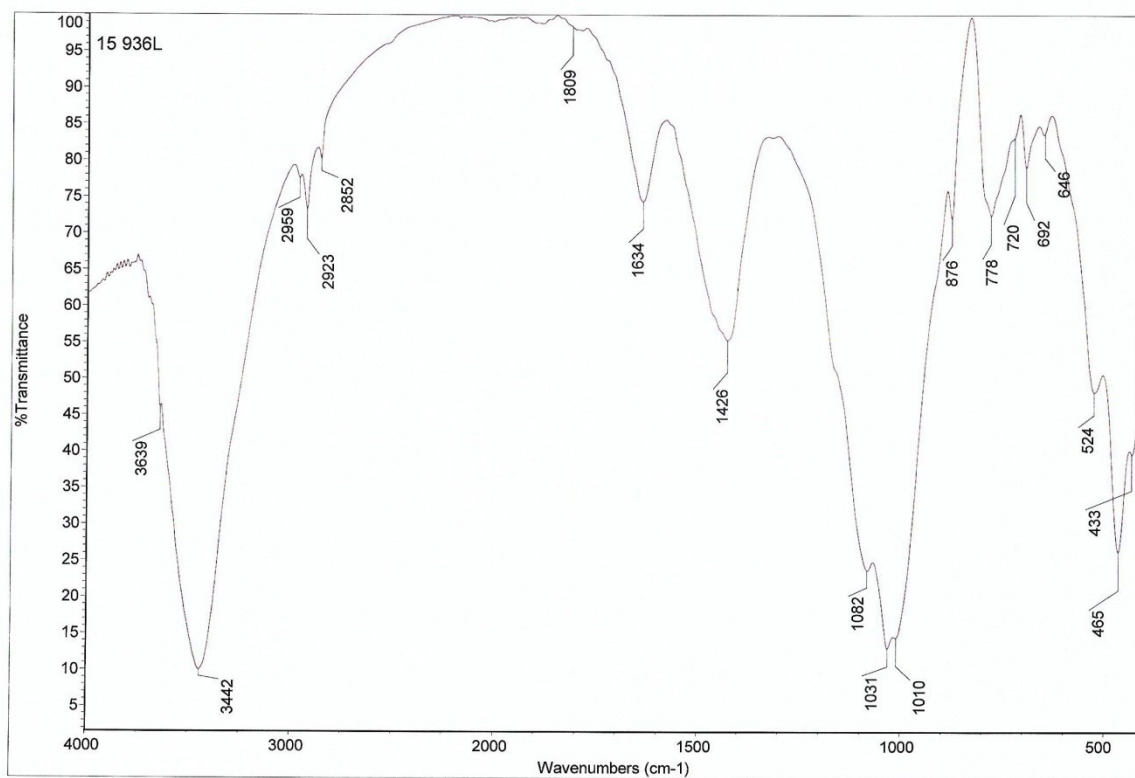
	NF5	564,6	564,6	566,4	567,8	568,5
	NF6	556,9	557,1	558,0	559,7	560,5
Xypex C1000	C10001	575,8	575,9	577,8	579,0	579,8
	C10002	574,3	574,3	576,7	577,5	578,0
	C10003	573,9	574,7	575,8	577,0	577,5
	C10004	569,2	569,7	570,9	571,7	572,5
	C10005	569,3	570,0	571,3	572,2	572,7
	C10006	563,0	564,6	565,6	566,3	567,6
Krystol Mix	K1	597,3	597,1	598,1	599,0	599,9
	K2	573,7	573,2	573,8	575,2	576,2
	K3	567,8	567,5	568,7	570,2	570,8
	K4	571,8	572,0	572,6	573,2	575,1
	K5	566,1	565,9	566,7	568,5	569,2
	K6	564,4	564,5	565,0	566,8	567,7

**Příloha 30: Kapilární absorpce trámečků po 1, 7 a 14 dnech**

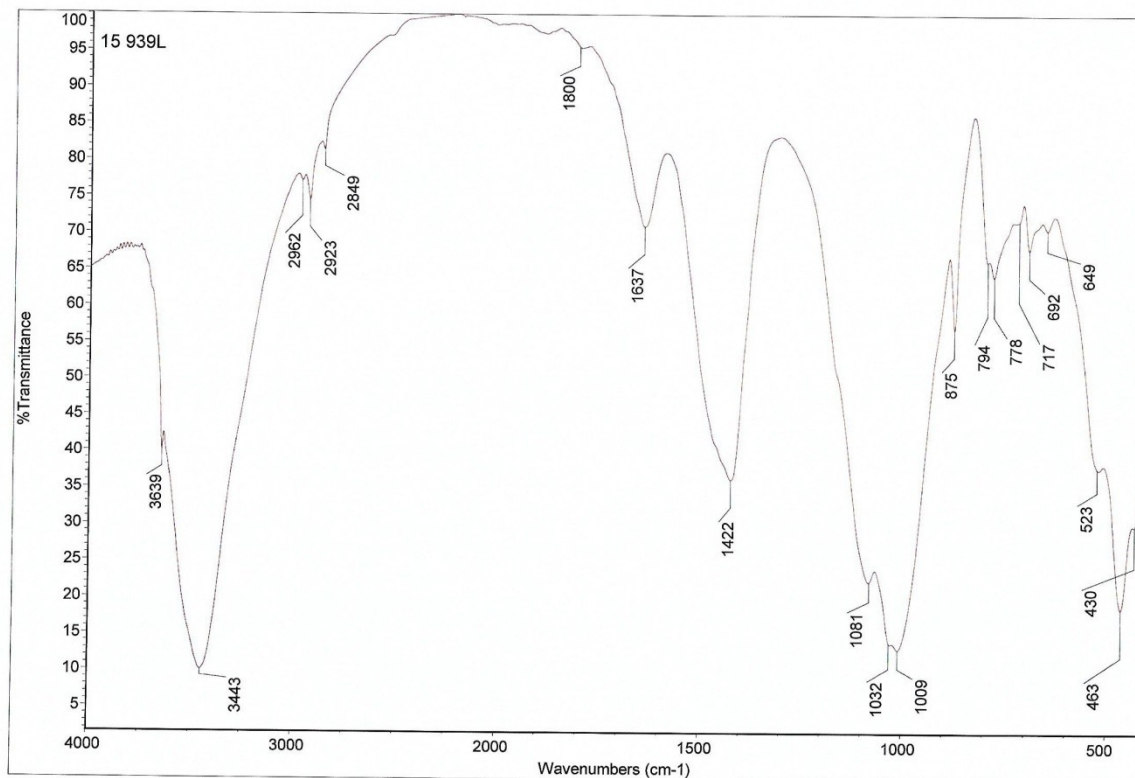
Druh příměsi	Označení trámečku	Kapilární absorpce $C_{A1}$ [g/mm <sup>2</sup> ]	Kapilární absorpce $C_{A7}$ [g/mm <sup>2</sup> ]	Kapilární absorpce $C_{A14}$ [g/mm <sup>2</sup> ]
Referenční záměs	R1	0,000437	0,0005625	0,000812
	R2	0,000313	0,0005625	0,000875
	R3	0,000437	0,0005625	0,001062
	R4	0,000125	0,0003750	0,001063
	R5	0,000750	0,0010000	0,001438
	R6	0,000063	0,0000625	0,000438
Idrocrete KR 1000	I1	0,000500	0,0006875	0,001125
	I2	0,000125	0,0003750	0,001250
	I3	0,000063	0,0008125	0,001500
	I4	0,000375	0,0004375	0,001062
	I5	0,000438	0,0004375	0,001000
	I6	0,000063	0,0008125	0,001188
Akvatron 12	A1	0,000250	0,0003125	0,000375
	A2	0,000563	0,0009375	0,001313
	A3	0,000375	0,0007500	0,000875
	A4	0,000688	0,0011875	0,001563
	A5	0,000438	0,0007500	0,001313
	A6	0,000813	0,0010625	0,001688
Sika WT - 200 P	S1	0,000562	0,0008750	0,001313
	S3	0,000500	0,0011250	0,002063
	S3	0,000438	0,0010625	0,001563
	S4	0,000063	0,0005000	0,001125
	S5	0,000313	0,0008125	0,001812
	S6	-0,000187	-0,0000625	0,000812
Conseal Admix Liquid	C1	0,001375	0,0017500	0,002250
	C2	0,000812	0,0013125	0,001875
	C3	0,000688	0,0012500	0,001625
	C4	0,000875	0,0012500	0,001812
	C5	0,000500	0,0011250	0,001750
	C6	0,001187	0,0017500	0,002563
Xypex NF	NF1	0,001062	0,0017500	0,001937
	NF2	0,000750	0,0015000	0,001688
	NF3	0,000375	0,0011875	0,001688
	NF4	0,000375	0,0012500	0,001687
	NF5	0,001125	0,0020000	0,002437
	NF6	0,000562	0,0016250	0,002125

Xypex C1000	C10001	0,001187	0,0019375	0,002437
	C10002	0,001500	0,0020000	0,002313
	C10003	0,000687	0,0014375	0,001750
	C10004	0,000750	0,0012500	0,001750
	C10005	0,000812	0,0013750	0,001688
	C10006	0,000625	0,0010625	0,001875
Krystol Mix	K1	0,000625	0,0011875	0,001750
	K2	0,000375	0,0012500	0,001875
	K3	0,000750	0,0016875	0,002062
	K4	0,000381	0,0007563	0,001944
	K5	0,000500	0,0016250	0,002063
	K6	0,000313	0,0014375	0,002000

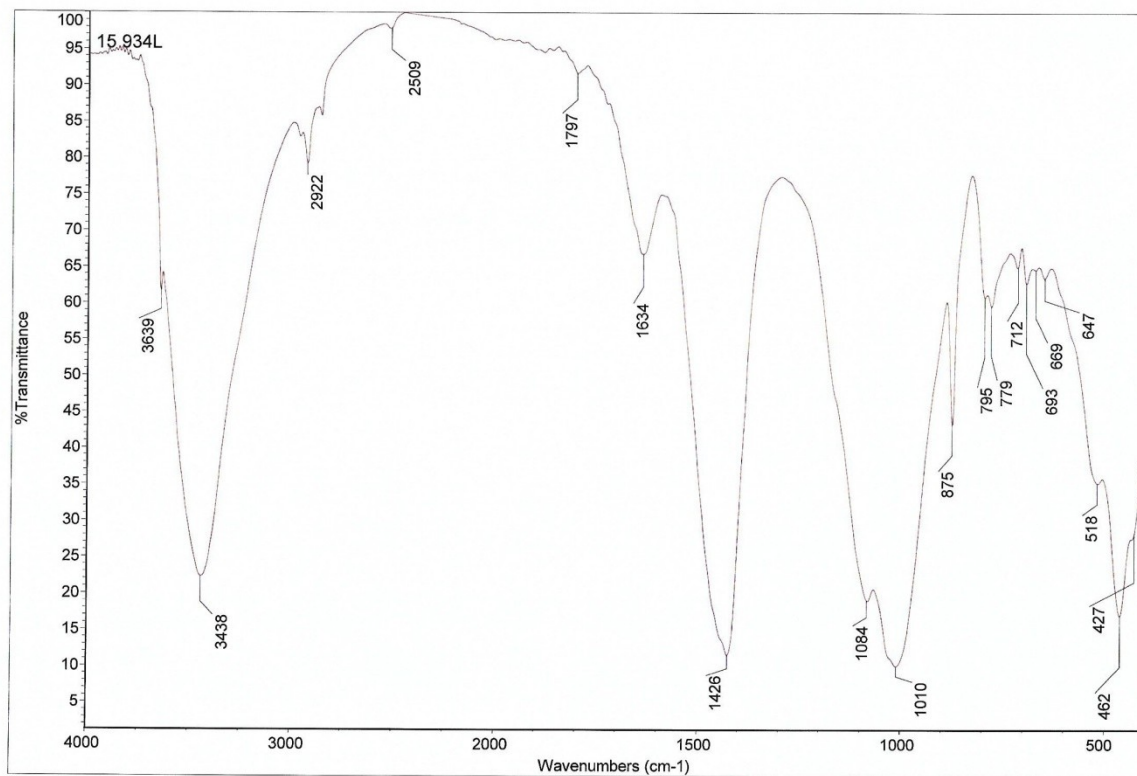
**Příloha 31: IČ spektrum, vzorek 15 936L - S1**



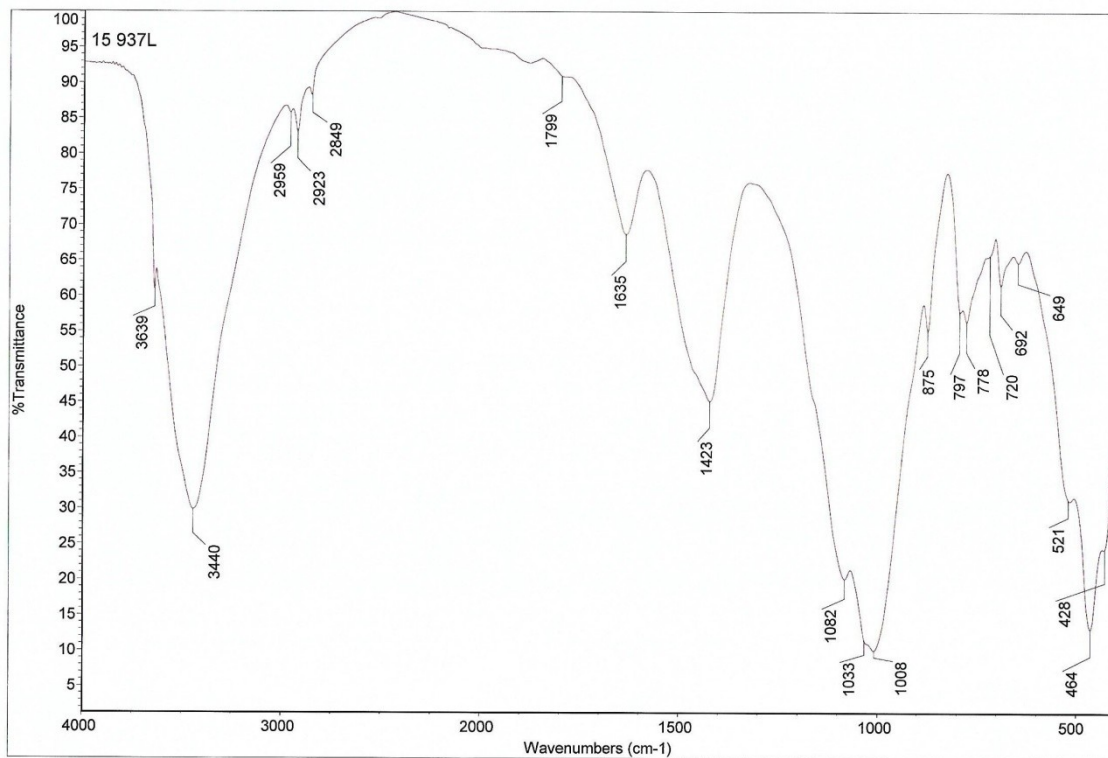
**Příloha 32: IČ spektrum, vzorek 15 939L- A1**



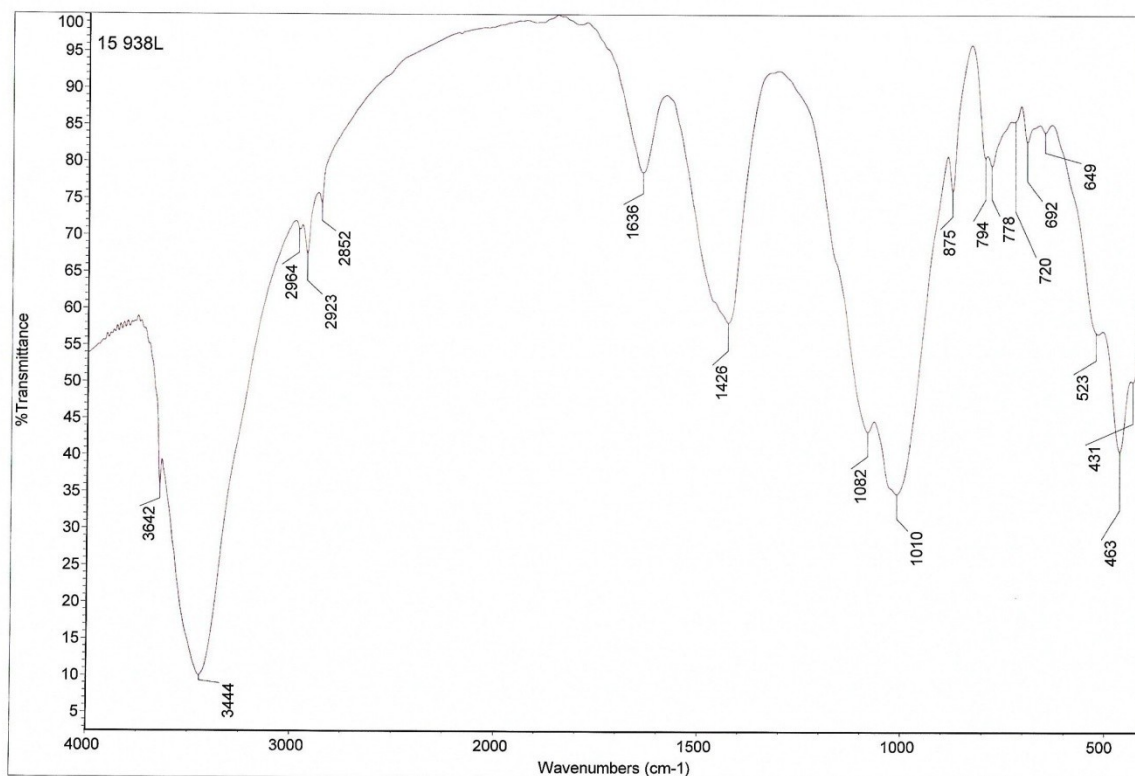
**Příloha 33: IČ spektrum, vzorek 15 934L – A4**



**Příloha 34: IČ spektrum, vzorek 15 937L - R1**



### Příloha 35: IČ spektrum vzorek 15 930 - R4

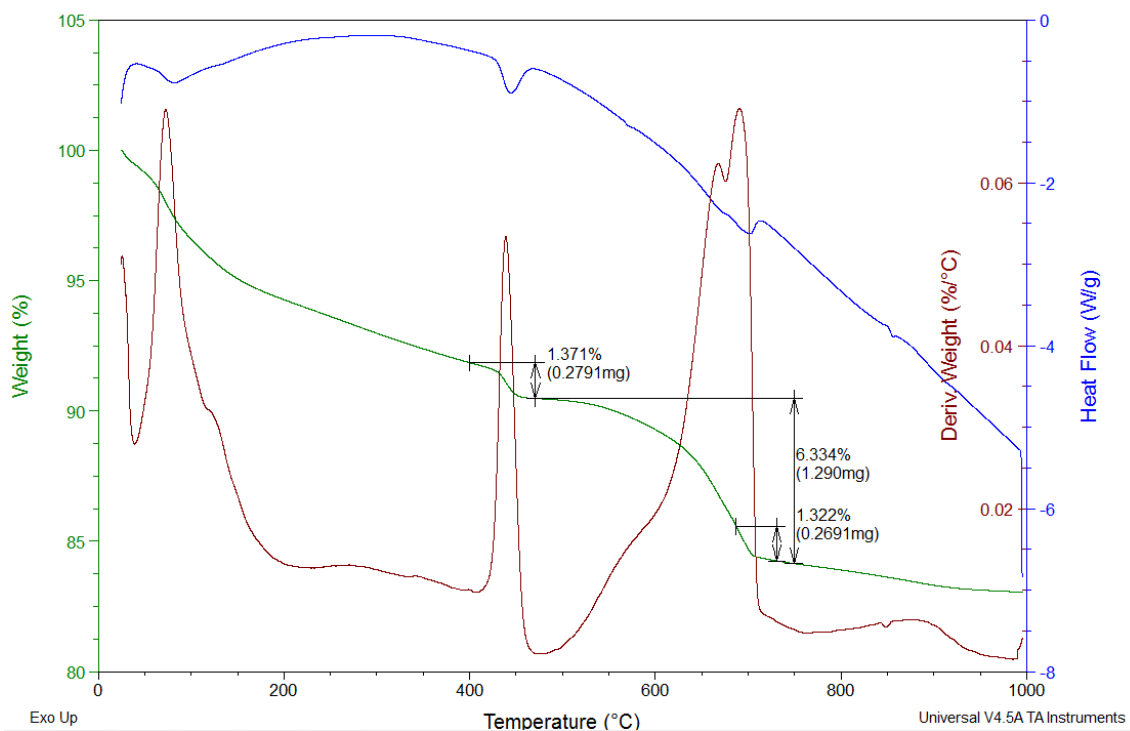


### Příloha 36: DSC/TG analýza, vzorek 15 934L - A4

Sample: Bam\_15934L  
 Size: 20.3600 mg  
 Method: Ramp  
 Comment: Bambuchova 15934L 10C/min, do1000C, air

#### DSC-TGA

File: F:\Bam\_15934L.001  
 Operator: mec  
 Run Date: 11-Nov-2016 11:26  
 Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20



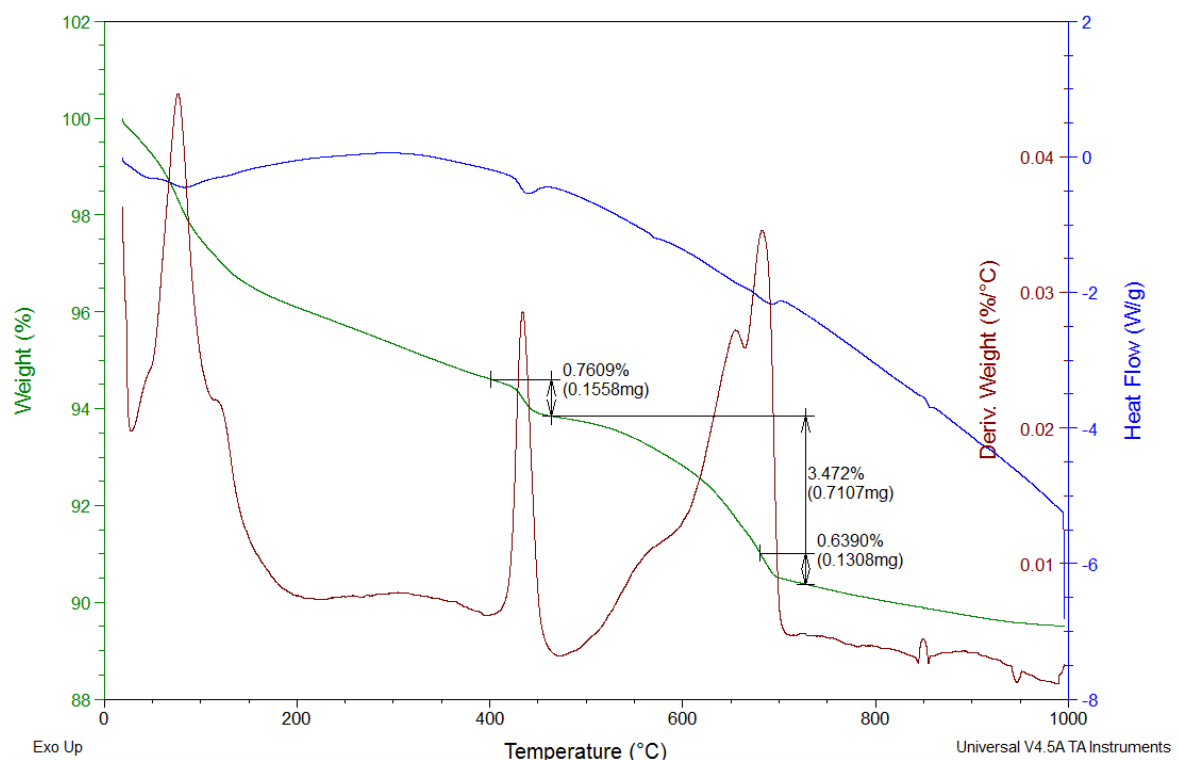


### Příloha 37: DSC/TG analýza, vzorek 15 936 L - S1

Sample: Bam\_15936L  
Size: 20.4720 mg  
Method: Ramp  
Comment: Bambuchova 15936L 10C/min, do1000C, air

#### DSC-TGA

File: F:\Bam\_15936L.001  
Operator: mec  
Run Date: 15-Nov-2016 06:47  
Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20

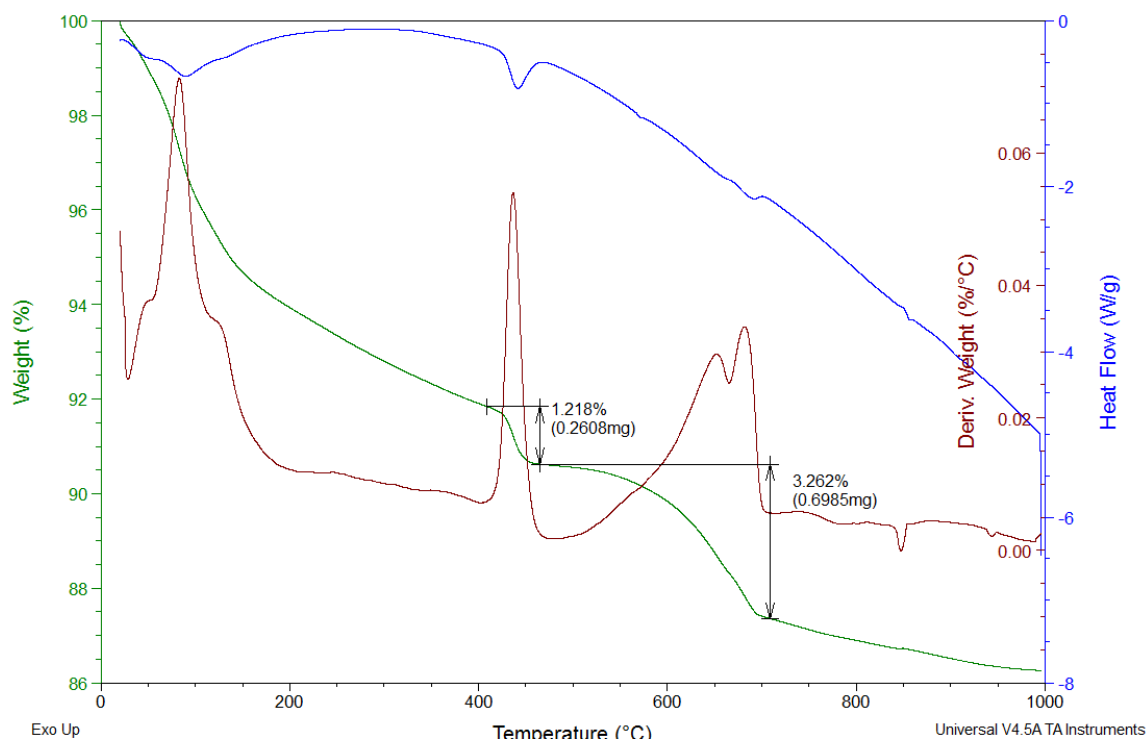


### Příloha 38: DSC/TG analýza, vzorek 15 937L - R1

Sample: Bam\_15937L  
Size: 21.4140 mg  
Method: Ramp  
Comment: Bambuchova 15937L 10C/min, do1000C, air

#### DSC-TGA

File: F:\Bam\_15937L.001  
Operator: mec  
Run Date: 15-Nov-2016 10:53  
Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20

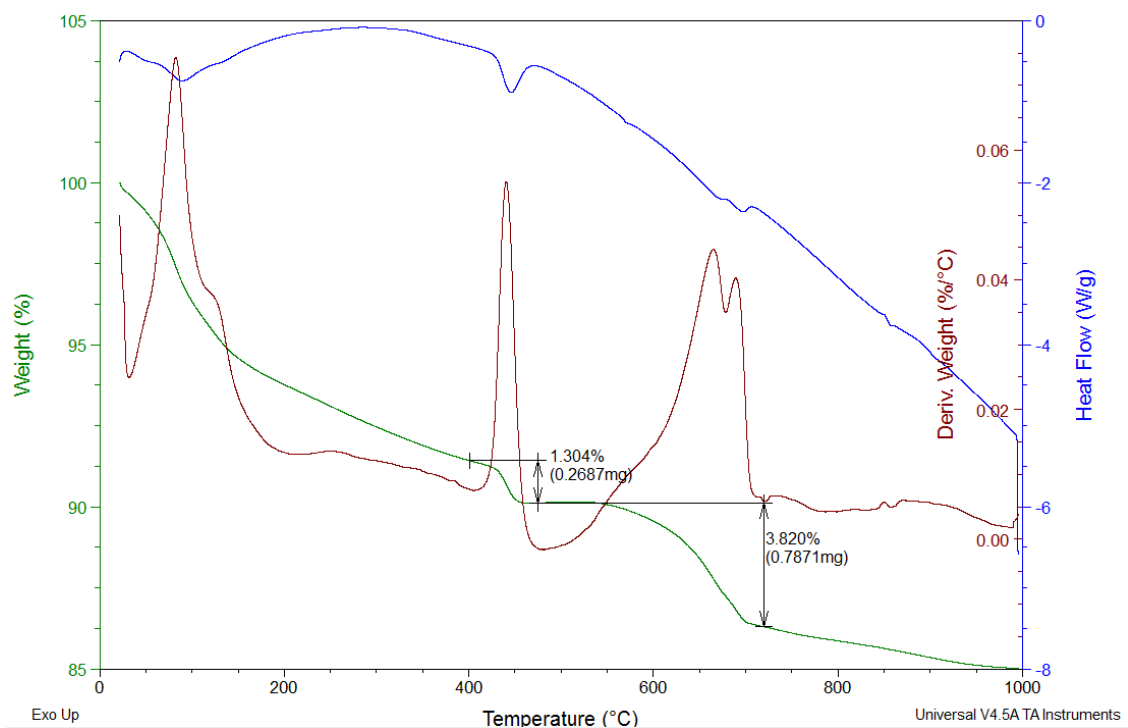


### Příloha 39: DSC/TG analýza, vzorek 15 938 L - R4

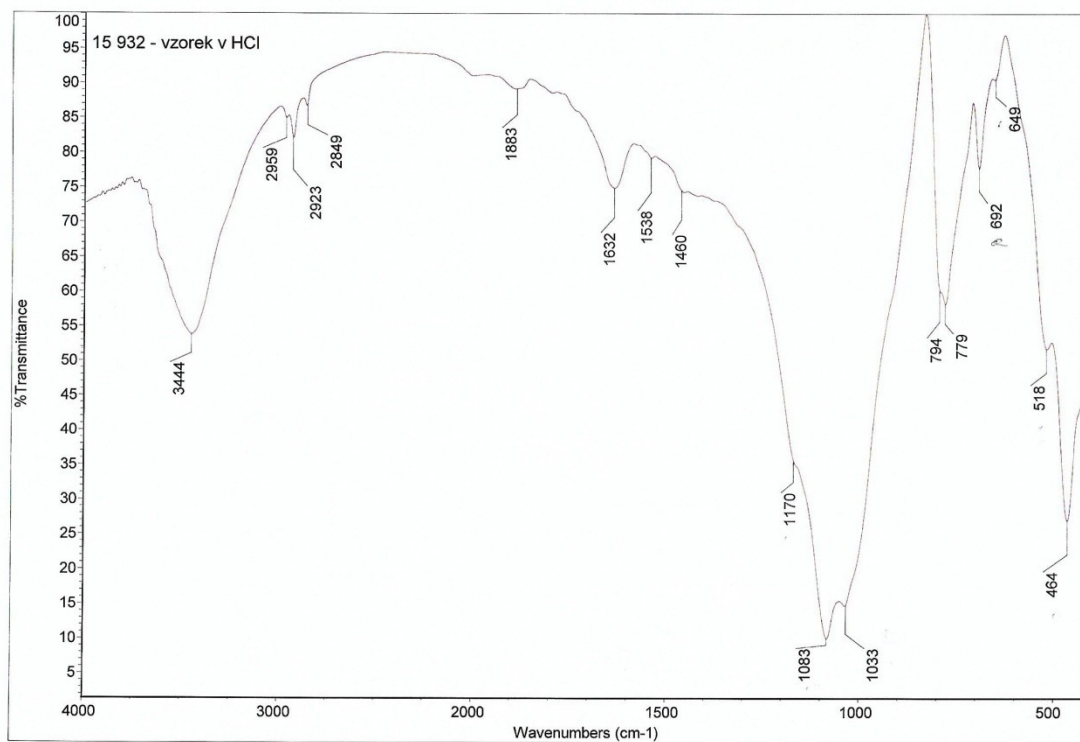
Sample: Bam\_15938L  
Size: 20.6060 mg  
Method: Ramp  
Comment: Bambuchova 15938L 10C/min, do1000C, air

#### DSC-TGA

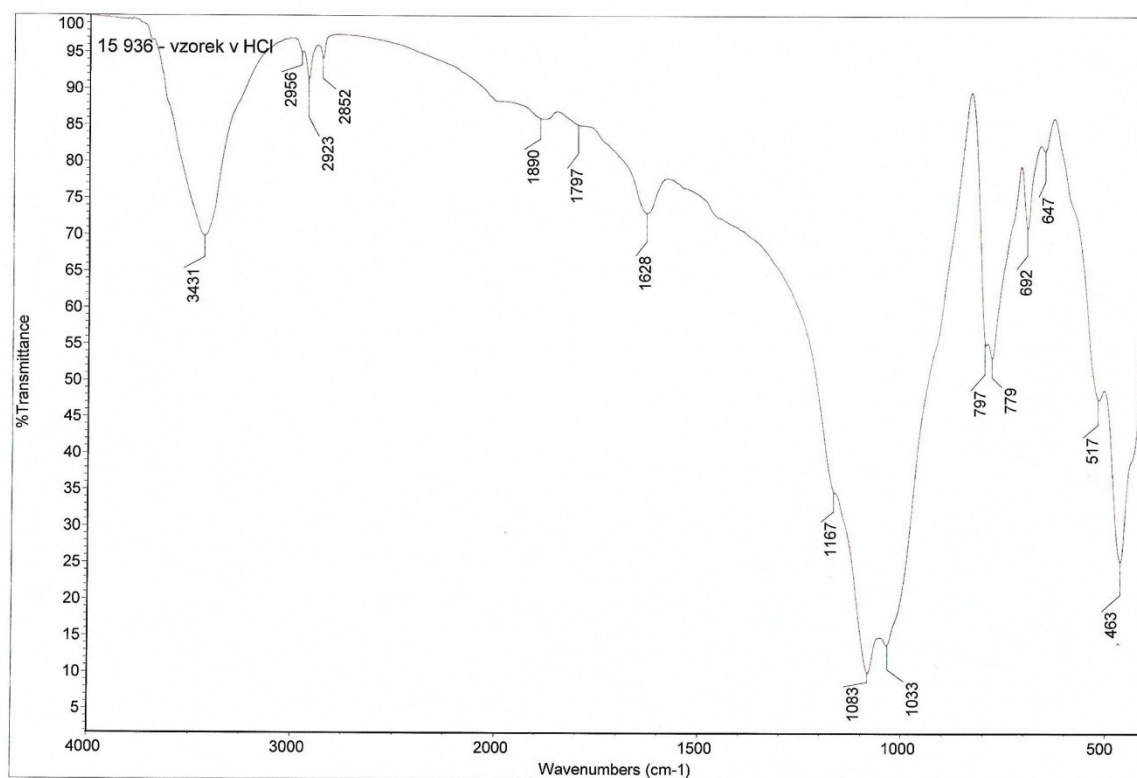
File: F:\Bam\_15938L.001  
Operator: mec  
Run Date: 15-Nov-2016 13:59  
Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20



### Příloha 40: IČ spektrum 15 932L - S4 - po HCl



**Příloha 41: IČ spektrum - vzorek 15 936L - S1 - po HCl**



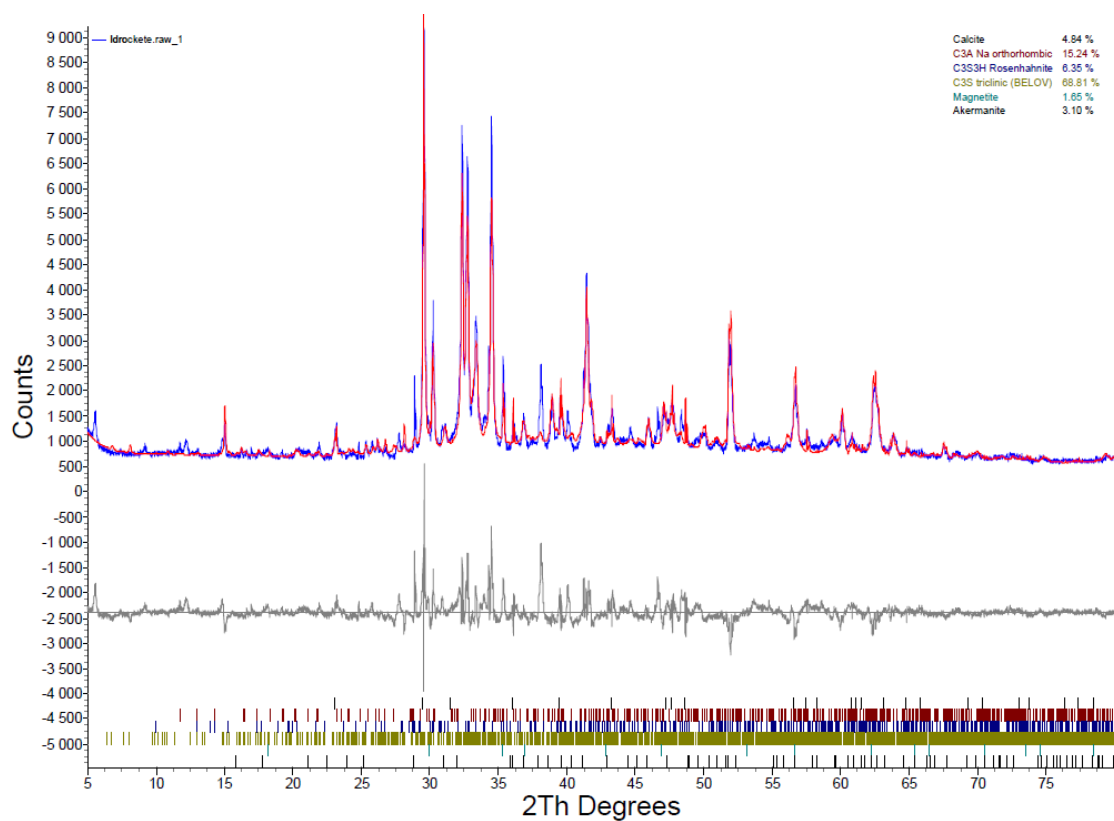
**Příloha 42: Spektrometr - krystalizační příměsi**

Index	1	2	3	4	5	6
Reading No	628	629	630	631	632	633
Time	##### ###	3.11.2016 9:37	3.11.2016 9:42	3.11.2016 9:46	3.11.2016 9:51	##### ###
Type	Mining	Mining	Mining	Mining	Mining	Mining
Duration	180	180	180	180	180	180
Units	%	%	%	%	%	%
Sigma Value	2	2	2	2	2	2
Sequence	Final	Final	Final	Final	Final	Final
Flags						
SAMPLE	<b>XYPEX</b>	<b>AKVATRON</b>	<b>XYPEX-NF</b>	<b>KRYSTOL MIX</b>	<b>IDROCRETE</b>	<b>SIKA</b>
LOCATION						
INSPECTOR	MEC	MEC	MEC	MEC	MEC	MEC
MISC						
NOTE						
Ba	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0,014	<LOD
Ba Error	0,006	0,006	0,007	0,007	0,005	0,007
Sb	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0,002	<LOD
Sb Error	0,002	0,002	0,003	0,003	0,001	0,002
Sn	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0,006	<LOD
Sn Error	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003
Cd	0,002	<LOD	0,002	0,002	0,002	<LOD
Cd Error	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002
Pd	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Pd Error	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Ag	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Ag Error	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003	0,002
Bal	50,066	63,977	45,481	49,142	47,362	53,59
Bal Error	0,153	0,115	0,177	0,16	0,17	0,148
Mo	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0,002	<LOD
Mo Error	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002
Nb	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Nb Error	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Zr	0,008	0,013	0,008	0,007	0,013	0,005
Zr Error	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Rb	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Rb Error	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Bi	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Bi Error	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
As	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
As Error	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Se	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Se Error	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Au	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD

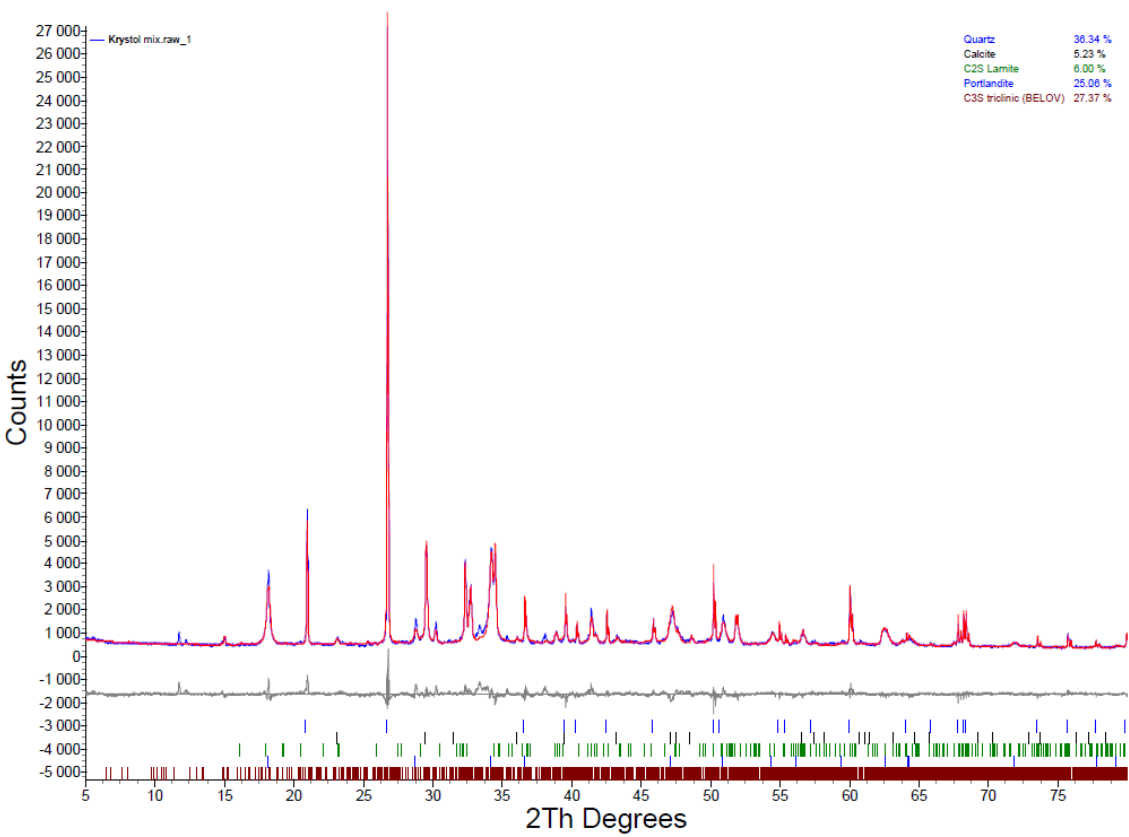
<b>Au Error</b>	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
<b>Pb</b>	<LOD	<LOD	0,002	0,002	0,002	<LOD
<b>Pb Error</b>	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002
<b>W</b>	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
<b>W Error</b>	0,006	0,004	0,008	0,005	0,006	0,004
<b>Zn</b>	0,026	0,02	0,044	0,019	0,034	0,02
<b>Zn Error</b>	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001
<b>Cu</b>	0,01	0,002	0,014	0,004	0,014	<LOD
<b>Cu Error</b>	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002
<b>Ni</b>	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
<b>Ni Error</b>	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
<b>Co</b>	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
<b>Co Error</b>	0,005	0,004	0,006	0,005	0,005	0,006
<b>Fe</b>	0,927	0,532	1,362	0,685	0,989	1,155
<b>Fe Error</b>	0,012	0,009	0,016	0,011	0,013	0,014
<b>Mn</b>	0,044	<LOD	0,031	0,01	0,025	0,111
<b>Mn Error</b>	0,005	0,006	0,005	0,004	0,005	0,006
<b>Cr</b>	0,009	0,003	0,01	0,005	0,007	0,011
<b>Cr Error</b>	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002
<b>V</b>	0,004	0,003	0,005	0,004	<LOD	<LOD
<b>V Error</b>	0,002	0,002	0,003	0,003	0,005	0,003
<b>Ti</b>	0,051	0,033	0,078	0,081	0,093	0,059
<b>Ti Error</b>	0,009	0,006	0,012	0,011	0,011	0,01
<b>Ca</b>	37,306	26,787	44,1	41,546	38,948	39,711
<b>Ca Error</b>	0,16	0,124	0,189	0,18	0,173	0,169
<b>K</b>	0,391	0,266	0,391	0,368	0,492	0,262
<b>K Error</b>	0,016	0,013	0,018	0,017	0,018	0,015
<b>Al</b>	2,048	0,638	1,427	1,04	2,276	0,881
<b>Al Error</b>	0,444	0,346	0,497	0,446	0,485	0,419
<b>P</b>	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
<b>P Error</b>	0,037	0,039	0,038	0,037	0,04	0,035
<b>Si</b>	7,806	3,446	5,742	5,667	7,943	3,648
<b>Si Error</b>	0,153	0,114	0,142	0,138	0,156	0,119
<b>Cl</b>	0,076	0,79	0,075	0,114	0,115	0,03
<b>Cl Error</b>	0,006	0,012	0,006	0,006	0,007	0,005
<b>S</b>	1,22	3,486	1,225	1,302	1,656	0,511
<b>S Error</b>	0,026	0,04	0,027	0,027	0,03	0,019
<b>Mg</b>	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
<b>Mg Error</b>	1,463	1,458	1,547	2,079	2,184	1,335
<b>Al2O3</b>	3,871	1,206	2,696	1,966	4,301	1,666
<b>Al2O3 Error</b>	0	0	0	0	0	0
<b>SiO2</b>	16,706	7,373	12,288	12,128	16,998	7,807
<b>SiO2 Error</b>	0	0	0	0	0	0
<b>MgO</b>	0	0	0	0	0	0
<b>MgO Error</b>	0	0	0	0	0	0
<b>CaO</b>	52,229	37,501	61,739	58,165	54,527	55,595
<b>CaO Error</b>	0	0	0	0	0	0
<b>SO3</b>	3,05	8,716	3,062	3,254	4,141	1,277

<b>SO3 Error</b>	0	0	0	0	0	0
<b>Fe2O3</b>	1,326	0,76	1,947	0,98	1,414	1,652
<b>Fe2O3 Error</b>	0	0	0	0	0	0
<b>K2O</b>	0,473	0,322	0,473	0,446	0,595	0,317
<b>K2O Error</b>	0	0	0	0	0	0

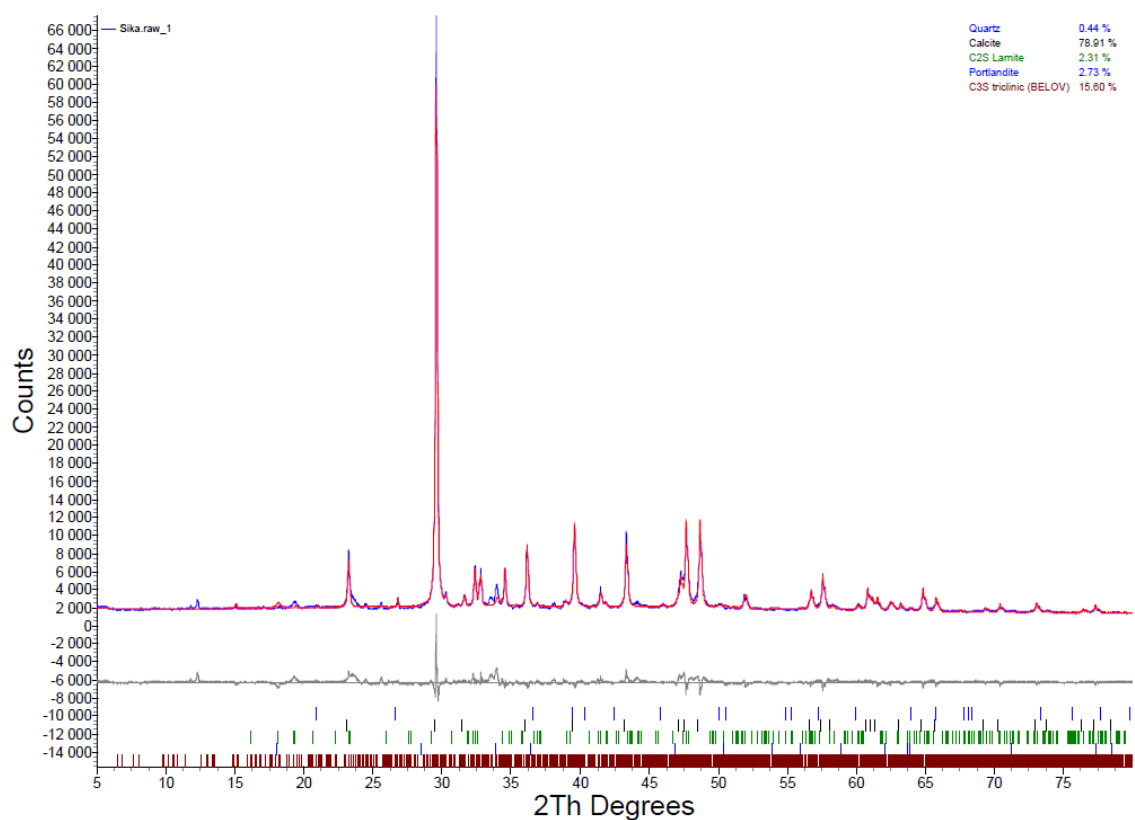
### Příloha 43: Difraktogram - Idrocrete KR 1000



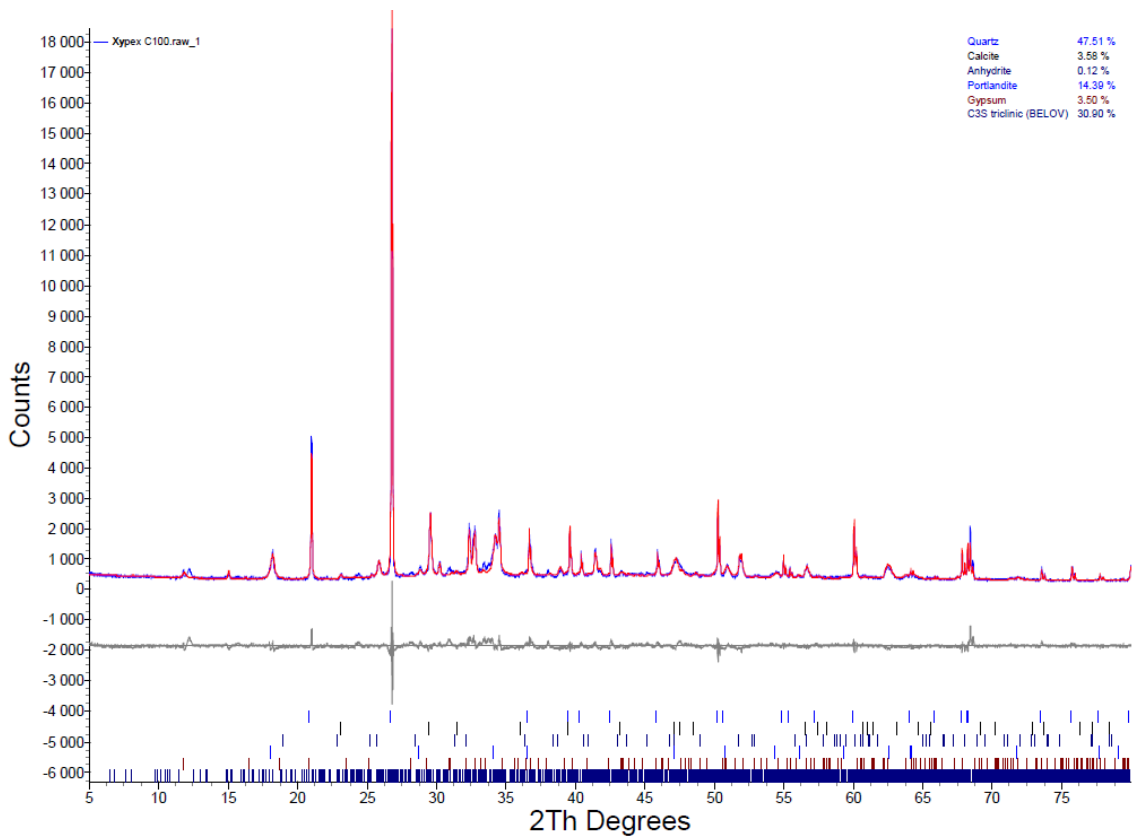
Příloha 44: Difraktogram - Krystol Mix



### Příloha 45: Difraktogram - Sika WT - 200P

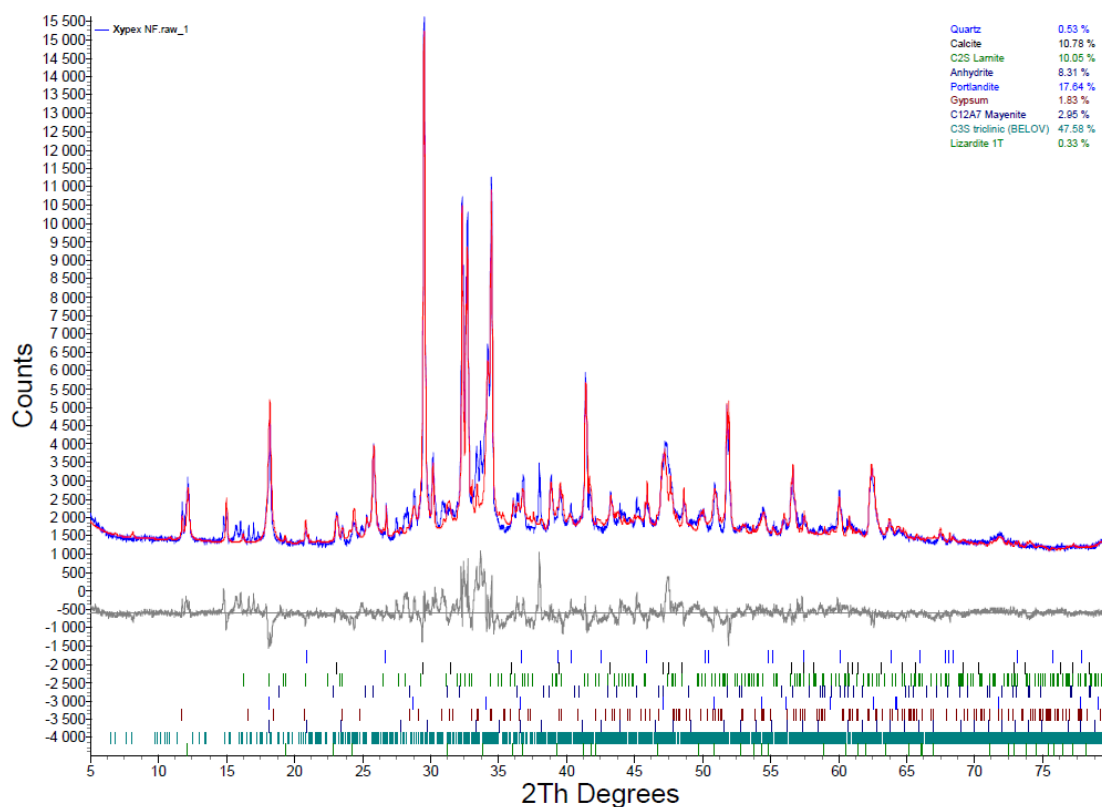


### Příloha 46: Difraktogram - Xypex Admix C1000





### Příloha 47: Difraktogram - Xypex Admix C 1000 NF

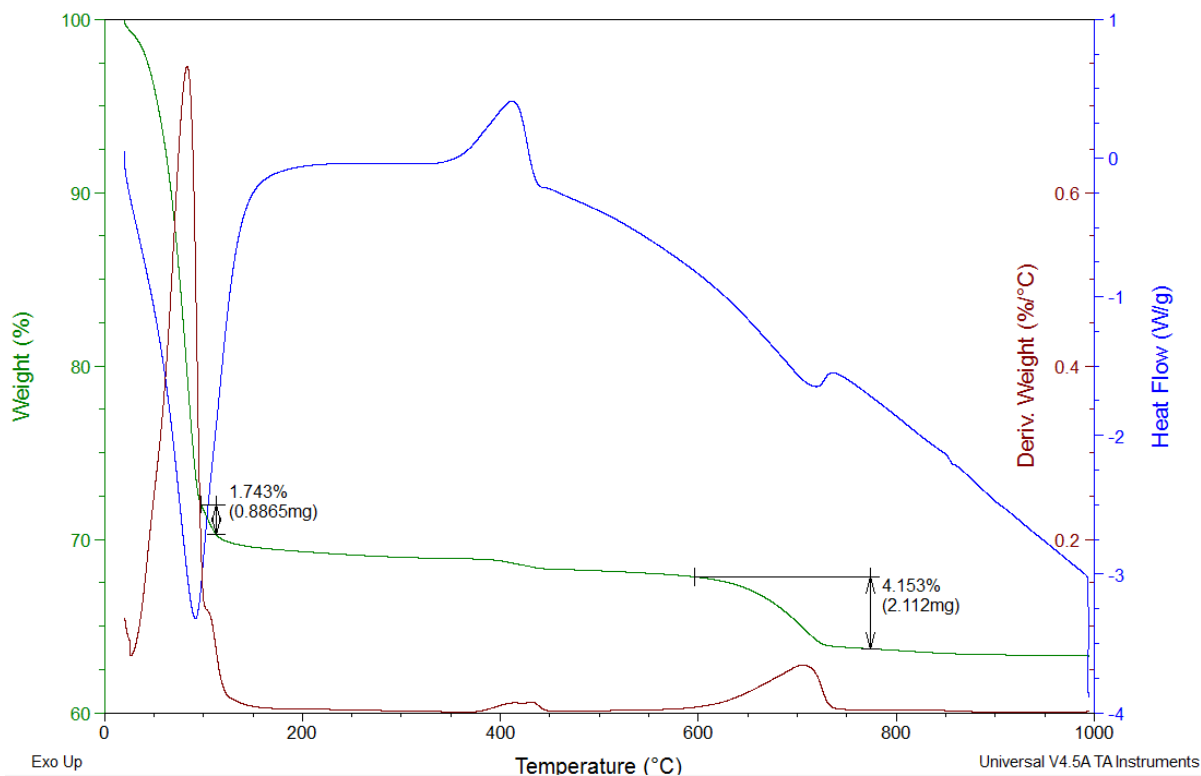


### Příloha 48: DSC/TG analýza - Xypex Admix C1000 NF - po kalorimetru

Sample: Bam\_XYPEXNF\_CAL  
Size: 50.8640 mg  
Method: Ramp  
Comment: Bambuchova XYPEXNF po Cal 10C/min, do1000C, air

DSC-TGA

File: C:\Bam\_XYPEXNF\_CAL.001  
Operator: mec  
Run Date: 23-Nov-2016 06:32  
Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20



## Příloha 49: DSC/TG analýza - Xypex Admix C1000 - po kalorimetru

Sample: Bam\_XYPEX\_CAL

Size: 48.2440 mg

Method: Ramp

Comment: Bambuchova XYPEX po Cal 10C/min, do1000C, air

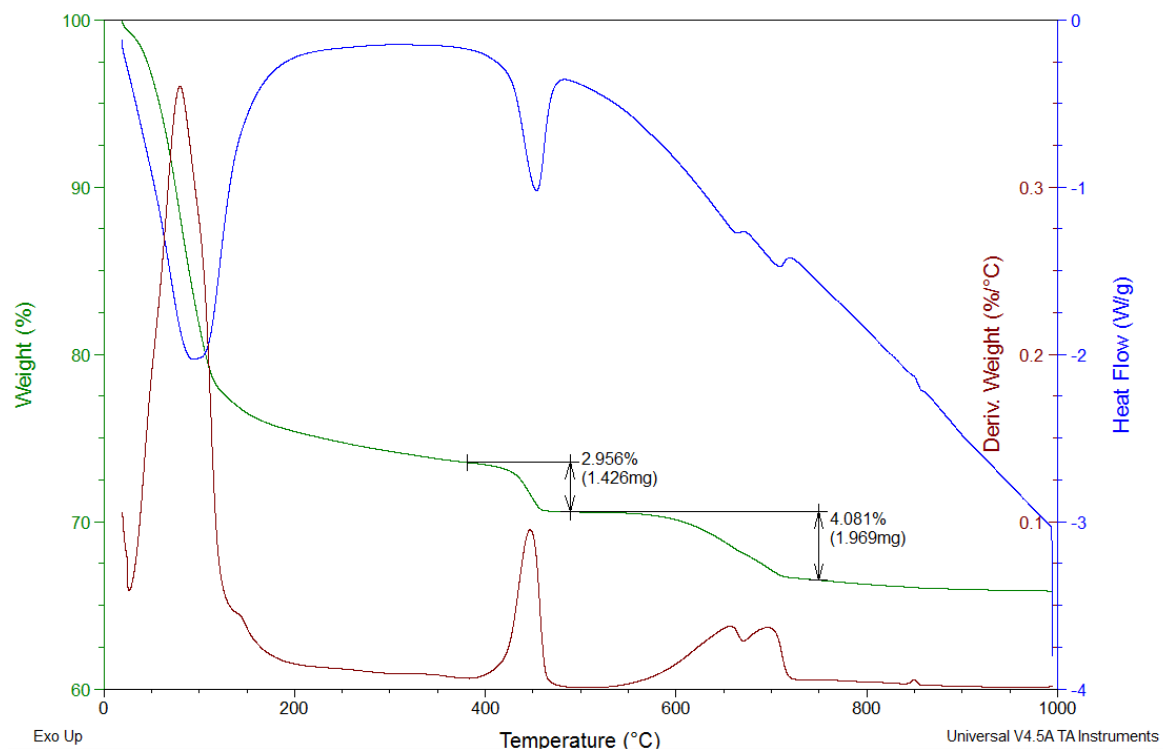
DSC-TGA

File: C:\...\Bam\_XYPEX\_CAL.001

Operator: mec

Run Date: 22-Nov-2016 11:31

Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20



## Příloha 50: DSC/TG analýza - Krystol Mix - po kalorimetru

Sample: Bam\_KRYSTOL\_CAL

Size: 50.9790 mg

Method: Ramp

Comment: Bambuchova KRYSTOL po Cal 10C/min, do1000C, air

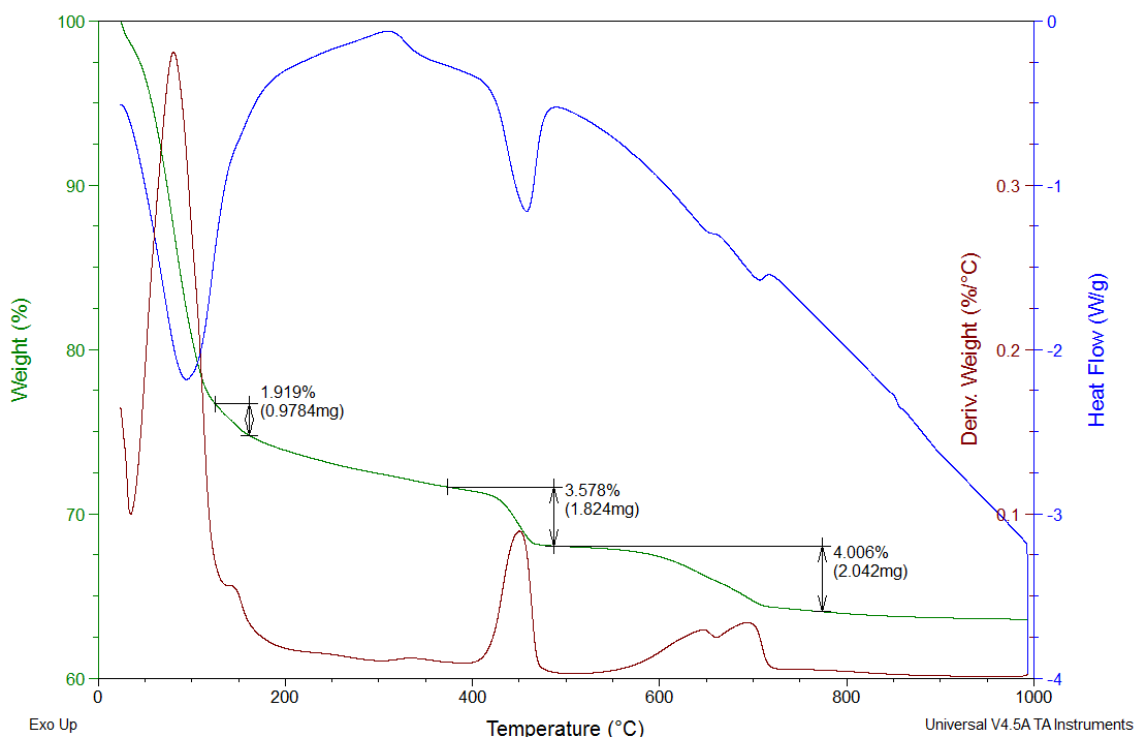
DSC-TGA

File: C:\...\Bam\_KRYSTOL\_CAL.001

Operator: mec

Run Date: 23-Nov-2016 08:59

Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20



## Příloha 51: DSC/TG analýza - Sika WT-200P - po kalorimetru

Sample: Bam\_SIKA\_CAL

Size: 50.8830 mg

Method: Ramp

Comment: Bambuchova SIKA po Cal 10C/min, do1000C, air

DSC-TGA

File: C:\...\Bam\_SIKA\_CAL.001

Operator: mec

Run Date: 24-Nov-2016 06:37

Instrument: SDT Q600 V20.9 Build 20

